

A. A. 德意志

动植物生活中的 微量元素和 天然放射性元素

天作之合

永結同心

天長地久

58.1713
780

动植物生活中的微量元素和 天然放射性元素

A. A. 德罗布柯夫 著

刘 鍾 鈺 译

崔 澂 校

科 学 出 版 社

1 9 5 9

中科院植物所图书馆



S0013793

А. А. Дробков

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

Издательство АН СССР 1958

內 容 簡 介

本书深入浅出地叙述了微量元素(碘、硼、铜、钴、锰、钼、锌、稀土元素、钛)和天然放射性元素(钍、镭、铀等)在人和动植物生活中的重大作用和意义。书中不仅提供了各种微量元素和天然放射性元素的试验研究结果综合资料,而且也提出了某些方法上的指导。此书可供生物学工作者,生理学工作者,作物栽培、动物饲养和农业化学工作者参考。

动植物生活中的微量元素和 天然放射性元素

А. А. 德罗布柯夫 著

刘 鍾 鈺 译

崔 激 校

*

科学出版社出版(北京朝阳门大街117号)

北京市书刊出版业营业许可证书字第051号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1959年9月第一版

1959年9月第一次印刷

(京) 0001—4,000

书号: 1359 字数: 140,000

开本: 787×1092 1/27

印张: 6 12/27 插页: 1

定价: 0.81 元

序

微量元素是存在于人、植物和动物机体中的为量极少的硼、锰、碘、铜、锌、钴、钼及天然放射性元素等化学元素的总称。这些元素虽然含量微少，可是在有机体的生活中却起着特别重大的作用。

在苏联和其它一些国家所进行的许多精确的生理试验证明了，植物和动物机体在沒有許多种微量元素时，便不可能正常地发育，含量不足时也会遭受地方性(該地特有)的病害。

最先指出微量元素和天然放射性元素在机体生活中的特殊作用的是 B. И. 威尔納茨基，他总结了已有資料，而且証明了当时已知的 92 种化学元素里在动物和植物生活中起着重大作用的有 60 种以上。

近几年来在苏联及其它一些国家都进行了多种多样的研究，証实了微量元素和天然放射性元素在植物、人和动物的生活中有非常的作用。

和平利用原子能以及这一科学部門的进一步的发展都要求我們重視天然放射性元素。和生物体全部进化过程中与生活有关的天然放射性对于机体究竟有怎样的作用，这一点是必須确切地弄清的。

鈾、鈷、銅、鐳、銣、鈾、鉀等天然放射性元素在自然界中分布很广。在土壤、洋海河湖的天然水、大气以及人、植物和动物的机体中，都是經常有极微量的这些元素存在的。植物可以自土壤和大气中吸收各种放射性元素，而人和动物則依靠植物性食物来获取。

我們的地球已經生存了几十亿年，而在其全部经历中，每一个最微小的部分都是有天然放射性元素存在的。天然放射性元素和宇宙射綫一起，造成了这一天然放射性环境。不論我們把电子計

数器、电位計、驗电器、X 光測定器或其它种能計算放射性的仪器放在甚么地方,都可以确定天然放射性的存在。

天然放射性元素看不見而且也觉察不到地参与着每一个生物体的生活。天然放射性碳 C^{14} 經常由空气中的氮在宇宙射綫的影响下在大气中形成。植物在进行二氧化碳的同化作用时, C^{14} 能被植物体吸收,然后再通过植物进入其它生物体内。和碳的稳定性同位素一样, C^{14} 也参与全部生活过程,也是蛋白質、碳水化合物、脂肪及其它有机化合物的組成成分。

考虑到微量元素及超微量元素的巨大意义及进行研究时的困难,因此我們不只要简单地敘述一下試驗性資料,而且还要提供某些方法上的指导,以期对研究着微量元素在植物和动物生活中的作用和意义的研究工作者們有所帮助。

对一切批評性的意見和愿望,作者均不胜感激。

蒙苏联科学院通訊院士 Я. В. 彼伊維、O. B. 尼古拉耶夫教授、M. B. 卡塔雷莫夫教授、H. Г. 日日里教授审閱手稿并賜予宝贵的指示,作者謹表感謝。

作者

目 次

序.....	(i)
植物靠甚么生活.....	(1)
植物和动物机体的化学成分.....	(6)
碘.....	(10)
硼.....	(16)
銅.....	(25)
鈷.....	(32)
錳.....	(37)
鉛.....	(40)
鋅.....	(45)
稀土元素.....	(50)
鈦.....	(51)
簡短的結論.....	(53)
天然放射性元素与人造放射性.....	(57)
測定放射性元素的几种方法.....	(60)
示踪原子法.....	(73)
鉀的放射性.....	(80)
人、植物和动物有机体中的天然放射性	(86)
自然界中各种放射性元素的含量.....	(94)
植物体中各种放射性元素的含量.....	(96)
放射性元素对植物的发育和产量的影响.....	(97)
放射性元素对土壤微生物的影响.....	(122)
天然放射性元素在人和动物的生活中的作用.....	(139)
关于对有机体有益和有害的放射性元素的剂量.....	(141)
在农业中利用放射性元素作为超微量元素的前景及 某些方法上的指导.....	(144)
使用放射性元素的安全規程.....	(151)

簡短的結論.....	(152)
附录.....	(插頁, 155—158)
参考文献.....	(159)

植物靠甚么生活

植物和动物机体是由哪些化学元素组成的，以及个别元素在它们的生活中起着怎样的生理作用，这是科学本身的全部发展史中一直在研究着的两个问题。

是甚么原因迫使学者们那么顽强地寻求着这些问题的答案呢？

因为，了解了生物的组成及个别元素的生理作用，就能更深入地理解生命的本质及活质的实质。而能够作到这点才有可能按照人类的意愿来改变生命过程以及更有成效地防治疾病和早老现象。

试验性地阐明植物靠甚么生活的最早的一次尝试是在 1629 年由万·盖尔蒙特（Ван-Гельмонт）进行的。

他预先称好了一条不长的柳枝的重量和一定重量的土壤。然后把这条柳枝在只以水来灌溉的这份土壤中，培育了五个年头。在试验结束时，土壤及在其上培育的植株都重新称过。结果发现土壤的重量几乎没有改变，而植物体的重量却增加了 32 倍。万·盖尔蒙特因此得出结论，认为植物只靠水生活。这自然是错误的。

为了弄清植物靠甚么生活，以及甚么是它的营养来源，是曾经花费过许多时间和劳动的。

人类自远古时代起就已知道在不同的土壤上植物的发育是不一致的。也已知道，如果在缺乏有机物质的土壤中施入腐植质，就会显著地改善植物体的发育。因此，在这些资料的基础上，又有了另外一种也是不正确的结论，即植物靠现成的有机物质——腐植质来营养。

腐植质学说在科学界曾有很长时期占据着统治地位。只是到了 19 世纪中叶，知道在纯净的石英砂及蒸馏水中也能培育出正常

植株以后，这种学說才被推翻。在这种培养环境中只要施以含有氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鉄这 7 种化学元素的人造营养液，就足以保证植物体的正常的发育。碳、氢、氧 3 种元素，植物可以从空气和水中得到。这一事实使我们能够作出如下一个結論，即植物的正常发育需要 10 种化学元素：碳、氢、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鉄，这些元素占植物和动物机体鮮重的 98—99 %。后来即称这些元素为大量元素。干植物体中含有将近 45 % 的碳、42 % 的氧、6.5 % 的氢和 1.5 % 的氮。其它元素約占 5 %。

許多方面的研究也已确定了这 10 种元素的生理作用，例如：碳、氧、氢、氮、磷、硫均是蛋白質、脂肪及碳水化合物等几种最重要有机化合物的組成成分；鎂和鉄是植物的叶綠素、人和动物的血紅素的成分；沒有鉀和鈣，植物便不能正常地发育；鈣在人和动物的骨骼組織的生活中起着重要的作用。

在 19 世紀中叶，根据試驗資料已經建立起植物的矿質营养理論，这种理論已巩固地成为一門科学，而且保持着本身的意义以迄于今。

植物的矿質营养理論，形成于 19 世紀中叶，因此很长时期以来似乎已經很完善了，以致于几乎沒有引起过怀疑。在水耕培养和砂基培养中只要施入氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鉄这 7 种元素，植株就能发育得很好，这样一些植物生长試驗就是这种理論的明显的实証。但是，对植物灰分进行精密的化学分析时往往能发现，除上面几种元素以外，还含有硼、錳、銅、鋅、鈷、鉬、碘、砷、天然放射性元素及其它种化学元素。它們的含量一般都是微乎其微的，只有亿分之几到千亿分之几，因此这类元素得名微量元素和超微量元素。

規定属于微量元素的有：硼、錳、銅、鋅、鈷、碘、砷、鉬等，含量測得为十万分之几到千万分之几。在动植物体中含量在 $10^{-5}\%$ — $10^{-12}\%$ 之間的属于超微量元素，例如：鐳、鈾、釷、鈾、釷、釷、釷等。

微量和超微量元素最初曾被誤認為是偶然的夹杂物，根据許多学者的見解，認為是被迫由植物本身的根所吸收的。然而，精密的生理試驗未証实这种观点。原来，在基本营养物质之外，若补施

以少量微量元素时,植物会发育得更好,且能得到更高的产量。

用純化的营养环境所作的进一步的生理試驗証明了,从营养液中完全除去了硼、錳、銅、鋅、鉬及其它元素时,植株就不能正常发育,或者死亡,或者蒙受特殊的病害。土壤中微量和超微量元素缺乏时,能引致植物和家畜的严重地方性病害。因此,还在 19 世紀末叶时学者們就已經开始重視微量和超微量元素在动植物生活中的作用和意义的研究了。

目前已經有了相当多的資料,可以証明存在于植物体中的大多数微量和超微量元素并非是偶然的夹杂物,象以前学者們所想象的那样,而是植物正常发育所不可缺的物质。

可是这种观点在科学界中有很长时期未能获得承認。这主要是由于研究这一問題时所采用的方法并不完善的緣故。

为了确定植物究竟需要哪些元素,还在 19 世紀的后半世紀时就已經拟訂出水耕培养和砂基培养的培育植株的方法。为此目的,可以将玻璃的或金属的培养器装满仔細洗过的純淨石英砂或蒸餾水,并加入內含氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鐵 7 种营养元素的人造营养液。

应用最广的、用于此种目的的营养液有普梁尼什尼柯夫营养液(Смесь Прянишникова)和格尔利格尔营养液(Смесь Гельригеля)。

供砂基培养用的普梁尼什尼柯夫营养液,克/公斤沙土

硝酸鉍	0.240
磷酸氢鈣 (CaHPO_4)	0.172
氯化鉀	0.150
硫酸鎂	0.06
硫酸鈣(石膏)	0.344
氯化鉄或檸檬酸鉄	0.025

供水耕培养用的格尔利格尔营养液,克/升水

硝酸鈣	0.492
磷酸二氢鉀	0.136
硫酸鎂	0.06
氯化鉀	0.075
氯化鉄或檸檬酸鉄	0.025

若从营养液中除去 7 种元素中任何一种，植株必然死亡，缺乏时生长停滞，而且植株会蒙受特殊病害。例如，缺氮时植物叶子就呈浅绿色。缺磷时会发生捲叶病，有紫色或红色斑点形成，而且罹病部位的組織很快即行衰亡。植物的根往往因缺少钙而发育微弱，而且各地上器官的生长也会停下来。缺钾时能引起叶片上褐斑的出现。缺铁时叶片中叶绿素的形成中止，因而带淡白绿色（缺绿病）等等。

这些事实是每一个想作这种试验的人都可以很容易地验证的。

水耕培养及砂基培养法过去曾广泛地用来研究植物对微量元素的需要。一些个别研究人员在 7 种元素之外补充少量的硼、锰、铜、锌等，结果植株的产量获得了相当大的增加。

但是，有很长时期人们对这些试验结果并未引起足够的重视。

土壤及植物体中所含有的数量极少的化学元素在植物生活中能起某种生理作用，看来是不可思议的。未施用微量元素的水耕培养和砂基培养也能培育出正常发育的植株这样一些事实巩固了这种见解。

文献中曾发表过许多有关微量元素对植物的发育有不良影响的试验结果。

这些矛盾有很长时期始终未被理解，只是后来才发现试验结果之所以有矛盾，乃是由于曾经那么有成效地用来研究氮、磷、钾、钙、镁等大量元素在植物发育中的作用和意义的试验方法不尽完善所致。

方法之所以不完善在于大多数微量元素往往作为相伴的夹杂物存在于普通水和蒸馏水中以及最纯的化学试剂之内。并且它们的数量往往不必再补充施用就已经完全能满足植物体对微量和超微量元素的需要。

如果能采用非常纯化的不含微量元素的盐类及蒸馏水的话，那么就可以发现植物在所谓的完全营养液中是不能正常地发育而且会死亡的了。

建立不含微量元素的营养环境是很困难的。我們在自己的試驗中,为了純化营养环境,使之不含微量元素起見,所有应用的盐类都要經過許多次的再結晶,而蒸餾水也是通过石英制冷却器一再地蒸餾。

檢驗化学葯品的純度可以証明,甚至于經過許多次的再結晶的盐类也不能保証百分之百的純淨。我們能得以大大地減低了許多种微量元素的含量,但是所应用的盐类中仍然含有作为相伴的夹杂物的鋅、銅、鋁、鎳、鈷、鉬等 28 种以上的化学元素。可見,在現代的知識水平上我們还不可能給植物創造出其中已完全除去了微量元素和鐳、鈾、釷等天然放射性元素及天然放射性碳等的那种营养环境。

蒸餾水一般都是被許多种微量元素所严重污染了的,这主要是由于饱和微尘以及自玻璃容器和冷却設備等淋溶下来而落入于蒸餾水中的。我們所进行的專門的檢驗发现,一般蒸餾水中在純化以前是含有少量下列各种元素的:銀、銅、鋅、錫、鋁、鎳、鈷、鉬、錳、鉻、鈦等。

植物和动物机体的化学成分

在自然条件下发育的植物体中經常含有几乎全部已知的化学元素及它們的同位素。

但是不同的植物所含微量元素的數量却是不一样的。微量元素的含量与植物的种、土壤气候条件以及土壤所在的成土母質有关。

根据 M. B. 卡塔雷莫夫的資料,栽培在厚黑鈣土的条件下的各种农作物的收获物中所含微量元素的數量各不相同(表1)。

在植物的发育过程中,一些营养元素浓聚(积累)起来,而另外一些营养元素則吸收得很少。其所以有这种現象的原因是由于植物机体的生物特性。

具有能将碳、氢、氧、氮等一些最简单的非有机化合物合成为蛋白質、脂肪、碳水化合物等最复杂的有机化合物,因而把无生命的无机化合物变成为有生命物質的能力,是植物最重要的特性。太阳能則是最主要的能源。植物体借綠色色素——叶綠素——之助把它順利地利用于自己的生命活动中去。

动物就不具备这种特性。动物是以植物所制造的現成有机物質来营养的。沒有植物,动物便不能生活。

可惜的是,目前科学还不能用人工的方法制造出植物很容易地就可以合成起来的那些复杂的有机产品。不过在动物和植物机体之間,無論是化学組成方面,或是个别营养元素在它們的生命活动中的生理作用方面,都是有它們相似之处的。植物的正常发育所必需的全部元素几乎同样也都是动物所需要的。

还在 19 世紀中叶以及本世紀初,人們就曾推断,植物所必需的元素中的碳、氧、氢、氮、磷、鉀、鈣、鈉、鎂、硫及鉄等 10—11 种元素,对于动物机体來說,就已完全够用。

表 1 同样在厚黑钙土的条件下载培的各种作物的收穫物中的微量元素含量

植 物	产 量 公担/公頃	硼		錳		銅		鋅		鈷	
		毫克/公 斤干重	克/公頃	毫克/公 斤干重	克/公頃	毫克/公 斤干重	克/公頃	毫克/公 斤干重	克/公頃	毫克/公 斤干重	克/公頃
小											
麦 { 籽粒 麦 { 麦稽	10 14	2 4	7.6	47 60	131	5.2 1.5	7.3	65 16	87	0.29 0.37	0.81
大											
麦 { 籽粒 麦 { 麦稽	15 20	2 4	11.3	30 37	119	5.7 3.8	16.1	38 20	97	0.37 0.37	1.30
燕											
麦 { 籽粒 麦 { 麦稽	20 21	3 4	14.4	56 63	244	3.6 3.7	15.0	36 35	145	0.26 0.24	1.02
黍											
麦 { 籽粒 麦 { 麦稽	18 26	3 6	21.0	23 70	223	5.6 4.2	21.0	45 30	159	0.28 0.34	1.39
菜											
豆 { 籽粒 豆 { 麦稽	10 10.5	3 8	11.4	30 80	114	8.5 5.4	14.2	33 20	54	0.33 0.58	0.94
豇											
豆 干草	25	—	—	115	287	5.1	12.8	30	75	0.52	1.30
苜											
蓿 干草	30	68	204.0	86	258	6.2	18.6	25	75	0.38	1.14
春箭舌豌豆 干草	25	40	10.0	45	112	4.7	11.8	37.5	94	0.47	1.18
向日葵 { 种子 葵 { 茎、叶	12 44.5	21 72	345.6	18 47	231	8.1 3.4	24.3	52.5 25	174	— —	—
糖用甜菜 { 根 甜菜 { 叶	280 100	17 35	162.0	50 180	592	6.5 6.9	52.5	17.5 50.0	188	0.22 0.49	2.15
飼用甜菜 { 根 甜菜 { 叶	350 120	20 50	165.8	70 260	695	7.5 6.4	45.4	25.0 22.5	153	0.32 0.51	2.26

动物机体主要是从蛋白质、脂肪及碳水化合物形式的植物性食物中摄取这些元素的。但是科学却把这一概念推翻了。

以纯蛋白质、脂肪及碳水化合物来营养动物机体的最初几次试验就使人们大失所望。原来,动物在这种情况下很快就会得病,而且不久就会死亡。

动物甚至在饲以优良饲料的情况下也可能患直接与营养不良有关的疾病,如坏血病(цинга)、佝偻病等。在畜牧学实践中,这样的实例是非常之多的。

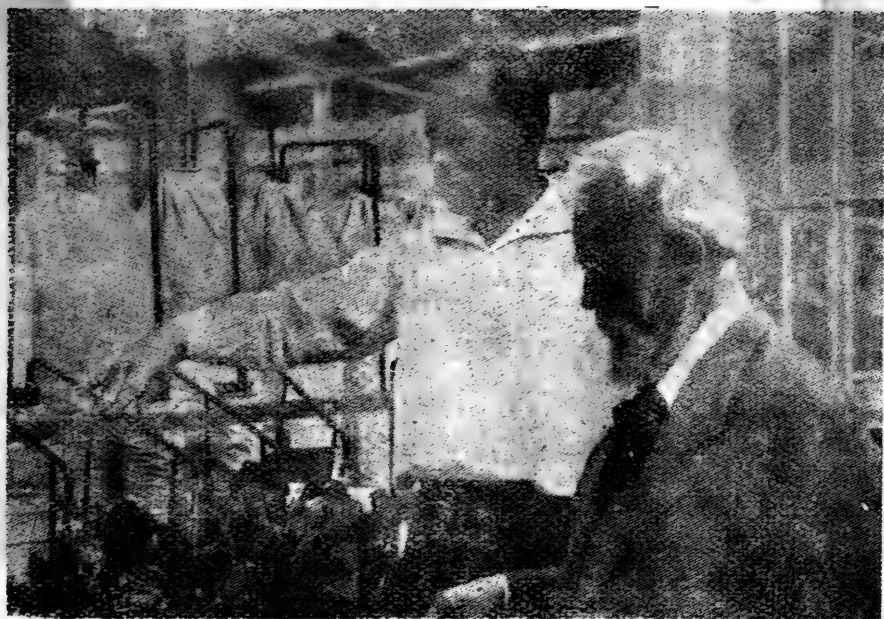
后来,一个新的发现证明了动物机体的营养理论是多么不够完备。这就是各种维生素的发现。从而有关动物的营养以及对于饲料质量的估价两者都引入了新的概念。

在动物机体内部器官中提高微量元素的数量的揭露,是动物营养的研究中的一个重要事实。动物甲状腺内碘的增高了的含量的发现,在这方面起着重大的作用。起初甚至很难解释碘在动物生活中的作用,只是在从甲状腺中提取出得名甲状腺素的,其中含碘量达 65% 的纯激素以后,才弄清了这个问题的。原来,碘在动物生活中起着重要的作用。食物和饮水中缺少碘时,新陈代谢即被破坏,动物往往患名为甲状腺肿的特殊甲状腺疾病。动物和人体所需要的碘的数量是极少的。这点乃是微量元素在动物生活中有重要作用的第一个证明。

近 30—40 年来,文献中积累了大量的有关微量元素在植物和动物的生活中的作用的研究材料。论述个别微量元素的著作发表的已有数万种,例如仅仅有关碘的就已有将近一万种。这种情况可以说明微量元素问题有着怎样的科学和实际的意义。

微量元素在不同时期曾经有过不同的名称,例如刺激剂、接触剂、次要补充元素等。

俄国学者们在有关微量元素学说的研究中有过很大的贡献。这方面的卓越人物中有我们时代的最著名的自然科学家 В. И. 威尔纳茨基 (Вернадский 1863—1945), 他最先总结了已有的有关生物的化学组成及这些含量极少的元素的生理作用的全部资料。



B. И. 威尔納茨基院士在观察有天然放射性元素的植物生长試驗(1940年)

他証明了地壳中含有的已知 92 种化学元素中有 60 余种是与生物有着密切的关系的。属于这一类的元素如下：H、Li、Be、B、C、N、O、F、Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Co、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Br、Rb、Sr、Y、Nb、Zr、Mo、Ag、Ca、Sn、I、Cs、Ba、La、Ce、Au、Hg、Pb、Rn、Ra、U、Po、Ac 等。

在周围环境中这許多种化学元素虽然含量极少，但却是經常地而不是偶然地存在于植物和动物机体之內的。第一个作出这种結論的就是 B. И. 威尔納茨基。

生物进行着按本身大小說来頗为巨大的工作已有 20 亿年以上。

生物在不断地进行着各种化学元素的大規模調动工作（大循环）。例如，大家知道，能吸收鈣、鉄、鎂、錳、氮、碳、氧、磷、硫、銅、碘、溴等元素的生物体往往引致这些种元素的強烈的轉移。

大气中游离的氧、氮、及二氧化碳都是由生物形成的，这种論点，現在已經可以認為是已被証明了的。疏散在自然界生物圈中的为量极少的各种化学元素由于生物有机体的活动可以逐漸被大量集聚起来。

地壳中为数达千百亿吨的純游离的砂土(即石英)的最大的集聚,就是以生物起源层(Толща биогенного происхождения)的形式积累而成的。包括褐鉄矿、菱鉄矿及喀尔奇(Керчь)、洛塔林吉亚(Лотарингия)和北美五大湖等地的綠泥石在內的鉄的最大的集聚,也是同样的起源。石灰岩、錳、銅等矿石也都是生物体的許多世紀的生命活动所形成的,煤、泥炭和石油就更不用說了。

В. И. 威尔納茨基长时期从事于各种化学元素在地壳中的分布的研究。地壳对生命的作用以及相反地,生命本身又如何影响地壳中各种化学元素的变迁,对这些問題他都深感兴趣。由于他的工作而在科学中建起了一个新的方面——有关微量元素及放射性元素的学說。

根据威尔納茨基的定义,生物地質化学是研究生命对地質化学过程的作用的地質化学中的一个很大的新的部門。威尔納茨基在 1912 年开始研究微量元素和天然放射性元素,一直到逝世。

А. П. 維諾格拉多夫对这方面研究工作的进一步发展有很大的功績。

在微量元素及超微量元素在植物生活中的生理作用以及微量元素的实际应用两方面的研究中,俄国学者們都起过很大的作用。对这些問題的研究,Д. Н. 普梁尼什尼柯夫(Д. Н. Прянишников)的貢獻很大。

碘

碘是 1811 年在海藻灰中發現的一种化学元素。海藻曾长时期用作制取碘的原料。海藻灰中含碘約 0.19%。現今,则是从硼砂水(Буровая вода)获取碘。

土壤、天然水、植物、人和动物机体中經常含有极少量的碘。

自从 1895 年在人和动物的甲状腺中發現有很高的含碘量以后,有关碘在生物生活中的作用的問題才开始引起人們的注意。那时人們即开始探討机体中碘素含量与甲状腺疾病即甲状腺肿之

間的关系。甲状腺肿是人們早已知道的疾病，虽然关于碘素缺乏在地方性甲状腺肿的发生中的作用的理論当时已經广泛流行，但是致病原因却很久沒有弄清。

1914 年肯杰尔 (Кендель) 从甲状腺中提取出一种結晶物質，其中含 65.2% 的碘。当时曾称之为甲状腺素。这种化合物的分子式是 $C_{15}H_{11}O_4NI_4$ 。在甲状腺中形成的其它許多种化合物中也含有少許的碘。

近 20—30 年来，不同学者們所进行的研究工作証明了机体中的甲状腺肿这种疾病与甲状腺組織中的碘的含量之間有直接的关系。

甲状腺的生理功能主要是产生激素即甲状腺素，这种激素对机体中新陈代谢的許多过程都有巨大的作用。甲状腺素能維持細胞間新陈代谢的一定的強度。

碘主要是通过植物性食物而进入于人和动物机体之內的，而植物則是从土壤中吸取。可見，如果土壤中碘的含量不够，那末在这种土壤上生长的植株就会比在有正常含碘量的土壤上发育的植株含碘量低。

地方性甲状腺肿在沼泽化过程最为显著的以及泥炭土壤很普遍的高山地帶及灰化土和沙土地区最常見。

碘和泥炭結合得很牢，因此很难被植物吸收。

人和动物食用缺碘的植物时，碘素平衡即被破坏，也就是說，进入机体中的碘会比正常机能所需要的少。从而破坏了新陈代谢，以致发生甲状腺肿这种疾病。

根据 O. B. 尼古拉耶夫及其他研究人員的計算，在正常条件下人的机体一昼夜所需的碘不少于 100—200 微克（1 微克等于 100 万分之 1 克）。

甲状腺肿病流行的地区每天进入人体內的碘往往減少到几十微克。每日由食物和飲水中摄取的碘只有 5—15 微克时，就可出現最严重的病例。

表 2 是尼古拉耶夫編輯的，此表說明了一些学生的碘素日摄



图 1 甲 甲状腺肿大而成克汀病患者(女) 22 岁



图 1 乙 同一患者,手术及医愈后
(根据 O. B. 尼古拉耶夫)

表2 一些学龄儿童的甲状腺疾病

碘素日摄入量(微克)	病 区 鑑 定	患甲状腺肿大的学生%
5—15	严重甲状腺肿病中心,“克汀病者”很多	80—100
15—25	甲状腺肿病区,许多半“克汀病者”	50—80
25—40	轻度地方性甲状腺肿,“克汀病者”少	30—50
40—80	很少甲状腺肿,无“克汀病者”	30以下
80—100	无甲状腺肿地区	—

量与甲状腺肿这种疾病之间的关系。

根据 E. B. 緬仁斯卡婭 (Менжинская 1944) 的材料,飲水中碘的含量与这些地区甲状腺肿患病百分数之間是有关系的:

患甲状腺肿%	水中碘的含量%
0—10	$1.6 \cdot 10^{-7}$
10—20	$1.3 \cdot 10^{-7}$
20—30	$1.0 \cdot 10^{-7}$
30—40	$0.8 \cdot 10^{-7}$
40—50	$0.7 \cdot 10^{-7}$

特别是水中含碘量在 $2.0 \cdot 10^{-7}$ 以上的地区,沒有发现甲状腺肿严重流行的現象。

人的甲状腺肿流行的地区,农畜也可能患这种疾病。根据 М. И. 古斯通 (Густун) 的材料,在俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国中部非黑鈣土地帶砂質灰化土和沼澤土的各地区,碘素含量不足,因而飼料中碘的含量也少,結果发现許多农畜的甲状腺都是肿大的。如作者所指出,雅罗斯拉夫州的一个区内甲状腺肿大的綿羊达 70—80%。

И. А. 西蒙-謝維爾斯卡婭 (Симон-Северская) 曾研究过在哈薩克苏維埃社会主义共和国高山条件下的羊羔甲状腺肿的发病情况。她的試驗发现了在这种情况下大約有 30—40% 的羊羔患甲状腺肿,并且已害病的羊羔通常都在断乳以前死亡。

然而不同的人 and 不同的动物对碘的需要量并不相同。有时有些机体頗能适应,例如根据 О. В. 尼古拉耶夫的材料,甚至在大大減低碘素平衡的情况下也未罹致甲状腺肿。因此在地方性甲状

腺肿流行的地区,仍有部分居民和家畜保持了健康。

地方性甲状腺肿在一定的地理区域内可以经常遇到,这些地方有时有相当大的一部分居民和家畜患这种病。

地方性甲状腺肿患病居民在全世界各个国家都有发现。流行最广的则是在印度的喜马拉雅山各支脉、瑞士及一些相邻的中、西欧国家、美国及阿比西尼亚等地。

在苏联的某些地区还有过去所残留下来的地方性甲状腺肿。然而,由于所进行的大力防治,不只大大地减轻了病情,而且大多数地区的地方性甲状腺肿也几乎完全停止了扩展。

防治甲状腺肿病宜广泛采用小剂量碘素治疗法及抗甲状腺肿碘素预防法。采用在食盐中加入碘化钾的全民加碘 (Йодирование) 的方法在甲状腺肿蔓延区有最良好的预防功效。按每个成年人每周 1 毫克碘化钾计算的食物加碘预防法,效果很好(О. В. 尼古拉耶夫)。甲状腺肿的碘素预防法在苏联全国范围内都已实行。

如前面所说,各种土壤中都是含有碘的,植物体中的碘就是从土壤中吸收得来。根据 М. А. 德拉格米罗娃 (Дрогомирова) 和 К. 茹可夫 (Жуков) 的材料,苏联的各种土壤中均含有不同数量的碘(表 3)。

表 3. 苏联不同类型土壤中碘的含量(%)

土 壤	含 量 极 限	平 均 含 量
冻土带,泥炭土	$2 \cdot 10^{-4}$ — $4.2 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$
灰 化 土	$5.6 \cdot 10^{-5}$ — $4.4 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$
灰色森林土	$3.5 \cdot 10^{-5}$ — $6.7 \cdot 10^{-4}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$
黑钙土,草原土和栗钙土	$2.4 \cdot 10^{-4}$ — $9.8 \cdot 10^{-4}$	$5.3 \cdot 10^{-4}$
灰 钙 土	$1.3 \cdot 10^{-4}$ — $3.8 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$
亚热带红壤	$6.4 \cdot 10^{-4}$ — $1.2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

从表中可以看出,泥炭土中含碘最多。碘在泥炭土中和有机物质牢固地结合在一起。

根据 М. А. 德拉格米罗娃的材料,在不同的作物中碘的含量在如下极限之间:

小 麦	$3.07 \cdot 10^{-6}$ — $1.2 \cdot 10^{-5}$
黑 麦	$5.02 \cdot 10^{-6}$ — $1.59 \cdot 10^{-5}$
燕 麦	$3.97 \cdot 10^{-6}$ — $1.25 \cdot 10^{-5}$
馬鈴薯	$7.62 \cdot 10^{-6}$ — $1.48 \cdot 10^{-5}$
甘 藍	$5.54 \cdot 10^{-6}$ — $1.59 \cdot 10^{-5}$
玉 米	$1.7 \cdot 10^{-6}$ — $8.16 \cdot 10^{-6}$

目前有关碘在植物生活中的作用問題，在文献中闡明得还不够。

在水耕培养条件下的植物生长試驗中，我們在完全营养液的基础上施用硼和錳与未施硼和錳时，进行过碘对蒿苣产量的影响的研究。試驗所采用的是純化学試剂；蒸餾水預先未經純化；試驗重复了4次；培养器容量为6升。

碘、硼和錳之施用形式及施用量(克/升)如下：

硫酸錳($MnSO_4$)	0.0020
硼酸(H_3BO_3)	0.0028
碘化鈉(NaI)	0.0010

試驗結果引列在表4內。

表4 碘对“别尔林黄色”品种蒿苣的發育的影响(盆栽試驗,水耕培养)

試 驗 处 理	风干植株的平均重量		风干的根的平均重量	
	克/盆	%	克/盆	%
完全营养液(对照)	3.27	100.0	0.40	100.0
同上 + 碘	3.07	93.0	0.36	90.0
同上 + 碘、硼、錳	6.47	198.0	1.08	200.0
同上 + 硼、錳	4.70	145.0	0.72	180.0
同上 + 硼	3.29	100.6	0.43	107.5
同上 + 錳	4.50	137.6	0.50	102.5

从表中可以看出,在完全营养液的基础上单独施用碘时,对蒿苣的发育并未发生良好的作用。只有在同时施用了硼和錳时,植株及根的重量才有相当大的增加,分別为53%及90%。可見,碘只有在一定的条件下才能对植物的发育有良好的影响。

根据初步資料,碘对于象蒿苣、甘藍、菠菜等这些蔬菜作物是有最良好的作用的。

硼

硼在自然界中属于广泛存在的元素。地壳中硼的含量大约为 0.002%。

自然界中仅发现有含氧化合物形式的硼：硼酸(H_3BO_3)、硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)及含硼矿物如电气石、水方硼石、аксарит* 等。许多种煤炭的灰分中都含有为量不多的硼。烏拉尔、貝加尔湖畔及哥里半島的温泉中发现有硼酸。塔曼及克尔琴半島的泥土中也含有少量的硼砂形式的这种元素。

硼是人类很早就已知道的元素，但很长时期以来，硼的化合物主要用于医药（含嗽喉嚨及制药膏等），及应用于各工业部門，例如，給鉄制容器涂珐瑯、制造玻璃、陶器、皮革、紙張以及各种罐頭工业等。

所有植物均經常含有少量的硼，但是它的生理作用却很长时期沒有弄清。由于不同的学者們所提供的一些初步的試驗得到了否定的結果，因而硼曾被列为有毒化学元素。因此硼为一切植物所必需的元素这种論点，很久未能得到許多学者的承認。例如在 1903 年的化学會議上，有人試圖吁請化学家們注意硼及其它許多微量元素在植物生活中的重要作用。然而第一次的报导即遭到了与会者們的冷遇。当时許多研究人員使用的都是未經純化的盐类，在一般营养液的水耕培养和砂基培养中也培育出了正常的植株，这种情况无疑也促成了这一点。

但是，最初几次試驗的失敗，并未使这些对植物的生活极为重要的化学元素的科学研究工作中断。对硼的兴趣逐渐增加，而研究工作便也逐年扩展起来。

硼对植物的发育有否定作用的原因也終於弄清。浸种采用的是含 0.1—1% 的硼酸溶液，但对植物体說来，这种剂量就是有毒的了。較稀浓度的溶液，当时沒有試用。到后来，发现低浓度的溶液对植物才有良好作用。不过，硼开始被認為是刺激剂，也就是說

* аксарит 的化学成分为 $2 \text{MgO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ——譯者。

是一种对植物有某种接触刺激作用的元素，而不是植物正常发育所必需的物质。只是在开始采用精细纯化了了的化学试剂、蒸馏水及洁净的化学实验用容器以后，才发现在一般未施硼的营养液中植物是不可能正常地发育的，而且必然死亡。植物缺硼时上部生长点往往衰亡，而且无花序形成，糖用及饲用甜菜还会出现心腐病。在硼的含量不足的土壤上，几乎所有植物的产量都有显著的下降，产品质量明显恶化。硼在植物生活中的重要生理作用现今已获得普遍的承认。硼能提高蔬菜及果实中的糖及维生素含量，也能增强植物对病害的抵抗力。

在土壤及植物体中很早就发现有硼，不过，只是在确定了这种元素对植物生活的重要作用以后，才出现了有关硼的含量的精确资料。

表 5 苏联各种土壤中硼的含量(%)

(根据维诺格拉多夫的资料,1950)

土 壤	硼的总含量	水 溶 性 硼	水溶性硼对其总含量的%
西宾内冻土带的泥炭潜育土	未 发 现	有 硼	
灰 化 土	$4.7 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$	4.0
灰 化 土	$7.7 \cdot 10^{-4}$	$1.95 \cdot 10^{-5}$	2.5
中 灰 化 土	$2.1 \cdot 10^{-4}$	$4.1 \cdot 10^{-5}$	19.5
灰色淋溶土	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$3.3 \cdot 10^{-5}$	7.3
粘性淋溶土	$7.7 \cdot 10^{-4}$	$3.4 \cdot 10^{-5}$	4.4
壤质黑钙土	$8.5 \cdot 10^{-4}$	$8.7 \cdot 10^{-5}$	10.2
粘性黑钙土	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$7.5 \cdot 10^{-5}$	6.8
亚速海滨黑钙土	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-5}$	2.6
淡栗钙土	$4.4 \cdot 10^{-4}$	$3.9 \cdot 10^{-5}$	8.9
盐渍栗钙土	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	8.5
非盐渍栗钙土	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	10.0
灰 钙 土	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$4.8 \cdot 10^{-5}$	3.8

不同土壤及不同植物中的含硼量是不一样的(见表5、6)。甚至同一植株的各个器官的含硼量也不相同。

从表中资料可以看出，不同土壤的含硼量各异。例如西宾内冻土带(Хибинская тундра)的土壤，硼最贫乏。灰化土中也少，

但与西宾内冻土带比较起来还是相当丰富的。含硼最多的是黑钙土、栗钙土和灰钙土。不过,土壤中只含有少量的水溶性硼这种情况也是值得注意的。

表 6 一些作物中的含硼量,根据长池农业化学试验站的资料
(卡塔雷莫夫,1948)

作物	干物质中的硼 毫克/公斤	作物	干物质中的硼 毫克/公斤
冬小麦 籽粒	6.2	洋葱	13.9
麦茬	9.9	番茄 果实	17.3
燕麦 籽粒	7.1	茎叶	32.7
麦茬	6.7	黄瓜 果实	20.2
冬黑麦 籽粒	8.5	西葫芦 果实	21.3
麦茬	7.5	红三叶草 种籽	21.5
马铃薯 块茎	13.7	三叶草干草	23.3
茎叶	20.7	甘蓝 叶球	25.5
甜菜 糖用,根	14.1	蒴藋卜 根	26.7
饲用,根	23.3	叶	37.4
食用,根	19.2		

从所援引的表中可以看出,各种植物每公斤干物质中的含硼量在 6.2—37.4 毫克之间。含硼最少的是禾本科植物:小麦、黑麦和燕麦。

同一植株的不同部位的含硼量是不一致的。我们可以援引苹果和菸草的资料为例(表 7)。

表 7 植株不同部位中的含硼量,根据全苏
肥料、农业技术、农业土壤研究所的资料
(每公斤干物质中的毫克数)

植 株 部 位	苹 果	菸 草
叶	39	51
萼片	—	58
柱头	74	74
雄蕊,包括花粉	48	32
花瓣	29	27
子房	55	40

从表中可以看出,在花的各部分中,含硼最多的是柱头、子房及连同花粉在内的雄蕊。

大多数硼的田间试验和盆栽试验都是在灰化土上,特别是在施用了石灰的灰化土上进行的。在这些试验中特别

注意了亚麻以及其它对过多施用石灰极为敏感的作物。大家知道,硼不仅能消除石灰的有害作用,而且还能提高许多种植物的抗病力。

1933—1934年間进行的亚麻及其它种作物的最初几次試驗証明了,在酸性的已施石灰的灰化土上,硼的作用甚微或完全不起作用。但是,如后来所查明的,其所以說沒有发现硼的良好作用,只是获得的产量較低。假使提高矿质肥料的剂量,并且施用石灰,那么,在同样的土壤上硼肥就会产生良好的作用了。

給亚麻及其它許多种作物采取施用石灰这种对提高灰化土土壤肥力最为重要的方法,由于这些种作物对过多石灰的高度敏感性而长期未能实行。例如亚麻的这种敏感性就表现为,不只是施用大量的石灰,既使施用中等剂量的石灰时,都会发生生长的停滞,出現缺綠病,繼之上部生长点衰亡,植株开始分蘖,成熟期严重拖迟,种子产量減低,而且纖維質量恶化。石灰的有害作用所引致的这种亚麻病害,往往称为細菌病。然而在土壤中施用了硼肥以后,这些病征就会完全消失。

亚麻研究所在加里宁州各集体农庄中的低洼生草-潛育土上进行了試驗,那里的亚麻曾罹过細菌病,由于施用了硼肥而使纖維增产:1.3 公担/公頃(“劳动的旗帜”集体农庄)、2.7 公担/公頃(B. P. 威廉斯集体农庄)、1.4 和 4.5 公担/公頃(“我們的劳动”集体农庄)。在各集体农庄的生产条件下,种子增产量为 1.8—4.14 公担/公頃。纖維質量提高了2—3 个支数。亚麻施用硼肥的平均剂量,在暗色沼泽土上为 0.35—0.70 公斤/公頃,在已施过石灰的生草灰化土上为 1 公斤/公頃。

在尚未确定甜菜心腐病是由于土壤中缺乏植物可利用的硼所引起的以前,很长时期沒有弄清致病的原因。

土壤中缺硼时,飼用甜菜罹心腐病特別严重。此病的早期表现为:植株中央的新生小叶开始凋萎、捲縮,繼則变黑、干枯。

根据 И. А. 波斯別洛夫(Поспелов)的材料,此病在施完全矿质肥料及石灰(NPK + Ca)的土壤上出現最早。

在土壤水分不足的情况下,不仅叶子,而且根也可能罹病。受病根肉开始变黑和衰亡,起初在根頸部分,随即沿边缘深入。变黑的組織变干并稍有腐敗(图2、3)。

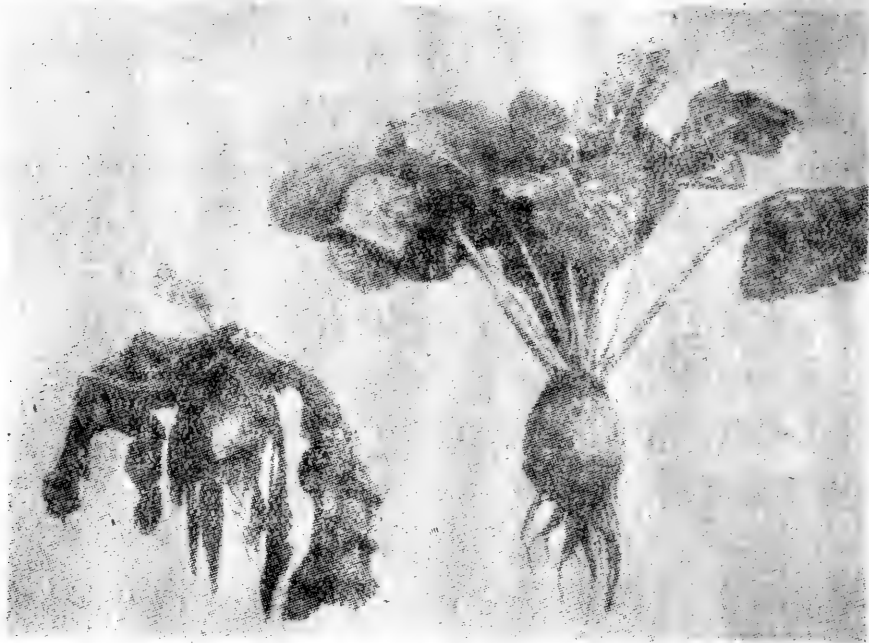


图2 飼用甜菜 左:已罹心腐病的病株,采自施 NPK+ 鈣无硼的小区;右:采自施 NPK+ 鈣和硼的小区的健康植株。(根据 И. А. 波斯别洛夫)



图3 已罹心腐病的飼用甜菜的根的切面
(根据 И. А. 波斯别洛夫)

И. А. 波斯別洛夫 1937 年在长池农业化学試驗站 (ДАОС) 用飼用甜菜作了試驗。施用了完全矿質肥料及石灰的一些小区, 在将近收获时几乎全部植株(97%)都罹致了心腐病(图 2、3)。

可是在得到硼肥的小区上, 所有植株都是健康的。硼的施用不仅消除了病害, 而且飼用甜菜的根的产量, 各个小区均增产 20—37%。

表 8 中援引的是在长池农业化学試驗站所进行的、研究硼对飼用和食用甜菜及飼用蕪菁的产量的影响以及它們的抗病性的提高的田間試驗結果。

表 8 硼对甜菜及飼用蕪菁的产量的影响(基肥 NPK)

(根据卡塔雷莫夫的資料, 1956)

試 驗 处 理	飼 用 甜 菜		食 用 甜 菜		飼 用 蕪 菁	
	根 重 公担/公頃	病株数 %	根 重 公担/公頃	病株数 %	根 重 公担/公頃	病株数 %
对 照	582	52	579	25	723	0
石灰(水解酸度 2)	506	99	652	61	681	100
石灰(水解酸度 2)+ 硼 3 公斤/公頃	1200	0	888	0	826	0

从表中材料可以看出, 硼肥不仅对提高产量有很大的作用, 而且还差不多能完全防止植株罹病。

从文献中現有的大量資料来看, 我們限于只是引証有关硼肥对三叶草、苜蓿及某些蔬菜作物的作用的一些最重要的資料。

表 9 中引用的則是全苏飼料作物科学研究所所进行的一些田間試驗結果(德雅科娃 Дьякова, 1952)。

根据 М. В. 卡塔雷莫夫的資料, 硼肥对提高蔬菜作物种子产量的影响, 如表 10 所示。

从表 10 中可以看出, 硼不仅对三叶草和苜蓿, 而且对蔬菜作物的种子产量的增加, 也有积极的影响。

如前面所說, 在施用石灰的酸性灰化土上以及富于石灰的土壤上硼的积极作用表現得特別明显。在未施石灰的酸性灰化土上

表 9 在完全礦質肥料及石灰的基礎上施用的硼对亞麻及苜蓿的种子產量的影响

土 壤	試 驗 地 点	作物	种子 產 量 公担/公頃		因施硼的增產量	
			无硼	有硼	公担/公頃	%
NPK 为基肥的灰化壤土	全苏飼料研究所	三叶草	1.6	2.7	1.0	41
已施石灰的土壤	同 上	三叶草	2.7	3.5	0.8	31
已施石灰的砂壤土	土尔試驗站	三叶草	0.8	1.4	0.6	75
已施石灰的壤土	全苏飼料研究所	苜蓿	0.5	1.7	1.3	269
同 上	同 上	苜蓿	0.8	4.7	3.9	473
已施石灰的砂壤土	留別列茨試驗場	苜蓿	0.7	1.7	0.95	130
已施石灰的壤土	普希金农业研究所	苜蓿	3.4	4.1	0.7	19

表 10 硼对蔬菜作物种子產量的影响
(田間試驗)

收 获	“波尔多”食用甜菜		“光 荣”甘 蓝		“莫斯科晚熟”甘蓝	
	无硼	施 硼 0.5公斤/公頃	无硼	施 硼 1公斤/公頃	无硼	施 硼 1公斤/公頃
种子(公担/公頃)	8.7	12.9	5.4	11.6	4.6	5.5
种子千粒重(克)	16.6	21.0	4.6	6.0	5.2	5.4

使用硼肥也很有价值，特别是对于能获得高额产量的三叶草、苜蓿、亚麻、飼用块根作物、蔬菜作物等这些最重要的农作物，更是如此。硼肥对豆科牧草如三叶草及苜蓿的种株的作用特别大。

在北方已施石灰的酸性灰化土各地区推广糖用甜菜时，对获得这一最重要作物的高额而稳定的产量以及提高其根部的含糖量，硼肥都将有很重大的意义。

此外，給蔬菜、果实及浆果作物施用硼肥，也很有成效。

根据現有資料，于土壤中施用含硼肥料，可以推荐的剂量如下：

作 物	硼的用量(公斤/公頃)
三叶草(留种区)	1.0—1.5
苜蓿(留种区)	1.5—2.10
飼用块根作物、糖用甜菜和蔬菜作物	1.5—2

果树浆果作物	1. —1.5
谷类作物及玉米	0.75—1
灰化土壤上的亚麻	0.5 —1
暗色低位土壤上的亚麻	0.35—0.7

硼砂、硼酸及硼镁肥料都可以用作硼肥。为了供应农业的需要,目前我国正在进行生产的硼镁肥料有:含硼約7.1%的纖維硼酸鎂石粉及含硼約10%的方硼石粉。这两种微量元素肥料中的硼都是易吸收态的。

硼肥最好是在播种以前施用,不宜很深。給硼肥深复土,效能減低。

根据初步試驗資料,硼肥在第二、三年都有后效作用。

硼肥也可以在播种后施用。但这时最好的方法是給植株作根外追肥。不过,根外追肥却不能完全代替于土壤中施用这一基本方法。

現今已經能够証明,植物不仅借助于根系,而且也可以通过叶子来吸收全部所需要的营养物質(“示踪原子法”一节有較詳的敘述)。

B. B. 雅克福列娃(Яковлева)在莫斯科州梅契申斯基区的一个集体农庄进行过几次在开花时期給种用三叶草噴射硼酸溶液作根外追肥的試驗,得到了很好的效果;浓度是1升水250毫克硼酸,硼的用量是0.5公斤/公頃(表11)。

表 11 用根外施肥法在溶液中施入的硼对紅三叶草种子产量的影响

試 驗 处 理	种 子 产 量		由于施硼的增产量 公担/公頃
	公担/公頃	%	
磷、鉀,无硼	2.3	100	—
磷、鉀,有硼	3.7	161	1.4

在非黑鈣土帶的谷类作物研究所(涅姆契諾沃克)所进行的第二次試驗中,曾利用含硼2.5%的硼鎂肥料作根外追肥。用量为40公斤/公頃的干燥状态的这种肥料是沿第一年利用的一次收割

的三叶草开花时期的田地撒布的。試驗結果如表 12。

表 12 以根外方法施入的硼对三叶草种子產量的影响

試 驗 处 理	种 子 产 量		因施硼的增产量 公担/公頃	試驗地段面积 (公頃)
	公担/公頃	%		
磷和鉀,无硼	2.2	100	—	1
同上,有硼	3.0	137	0.8	0.5

从所引用的表 11、12 的材料可以看出,根外追施硼肥的方法是相当有效的。

在采用根外施肥法时,应先制备每升水含 0.2—0.25 克硼的溶液。溶液的制备宜早,最好是在施用前一个昼夜,因为硼酸、硼砂和硼鎂肥料在冷水中溶解得很慢。制备期間溶液必需攪拌数次。給植株噴肥在傍晚时进行最相宜,用馬拉或背負式两种噴霧器噴射均可,耗用量是每公頃 1000 升溶液。

干燥状态的硼肥也可以用根外方法施用。这时,可用仔細研磨的粉末撒布植株,按每公頃 500 克硼計算。給植株作根外追肥最好是在生长旺盛时期、花蕾形成阶段以及开始开花的时候。

播种前用硼的溶液处理种子的方法,效果很好。浸种 100 公斤,取用 4 升溶液(种子重量的 4%),种子应仔細攪拌。用这种方法处理种子要进行两次。

浸蔬菜作物的种子,可以采用含 0.01% 硼的溶液。浸飼用块根作物、苜蓿、三叶草、玉米、豆类及其它种作物的种子,应采用含 0.001—0.005% 硼的溶液,而对于亚麻种子來說,則应采用含 0.05% 硼的溶液。

用根外方法施硼时必须考虑到,高浓度的硼对植物是有毒的。因此应采用浓度不超过 0.02% 的溶液,并且要施得均匀。

O. K. 凱得洛夫-季赫曼、C. И. 柯金、M. Я. 施柯尔尼克等人的試驗,都由于应用根外方法施用硼微量元素肥料而获得了良好的效果。

虽然硼在植物生活中起着重要的生理作用，可是硼对动物机体的作用，到现在几乎仍旧是没有研究过的问题。从现有文献资料可以知道，在动物和人的各个器官中都是含有硼的。在鸡蛋、牛奶及动物的血液中也经常含有硼。

銅

銅是人类自远古时代就已熟知的元素。它以孔雀石、輝銅矿、藍銅矿、赤銅矿、黃銅矿等含銅矿物的形式存在于自然界中。

土壤中平均含有約 $1 \cdot 10^{-3}\%$ 的銅。非常肥沃的黑鈣土及其它土壤一般含銅較多。位于銅矿产地之上的土壤含銅可达 $2.5 \cdot 10^{-1}\%$ (瑪柳嘉, 1946)。含銅最少的是泥炭質沼泽土 ($5 \cdot 10^{-4}\%$)。

此外，泥炭土中的銅被有机物质牢固地羈留，也就是說，是植物頗难吸收的形态。

不同类型土壤中銅的含量是不一样的(表 13)。

表 13 苏联各种土壤中的含銅量
(根据瑪柳嘉的資料, 1946)

土 壤	取样深度(厘米)	取 样 地 点	銅 的 含 量 %
泥炭質沼泽土	0—15	西 宾 內	$2.3 \cdot 10^{-3}$
泥炭質沼泽土	15—25	西 宾 內	$1.1 \cdot 10^{-3}$
灰化壤土	0—18	季米里亚捷夫农业科 学院試驗場	$8.3 \cdot 10^{-4}$
灰化壤土	18—34	同 上	$5.5 \cdot 10^{-4}$
灰色森林土	0—5	土 尔 州	$1.2 \cdot 10^{-3}$
灰色森林土	20—25	土 尔 州	$1 \cdot 10^{-3}$
普通黑鈣土	0—5	沃龙涅什州	$1.7 \cdot 10^{-3}$
普通黑鈣土	24—32	沃龙涅什州	$1.2 \cdot 10^{-3}$
亚速海滨黑鈣土	0—5	罗斯托夫州	$2.3 \cdot 10^{-3}$
亚速海滨黑鈣土	40—45	罗斯托夫州	$1.3 \cdot 10^{-3}$
栗鈣土	0—5	罗斯托夫州	$1.4 \cdot 10^{-3}$
栗鈣土	30—35	罗斯托夫州	$1.3 \cdot 10^{-3}$
灰鈣土	0—5	“博尔凱斯”国营农場	$5.1 \cdot 10^{-4}$
柱狀礫土	0—5	罗斯托夫州	$2.1 \cdot 10^{-3}$
柱狀礫土	10—15	罗斯托夫州	$2.3 \cdot 10^{-3}$
紅 壤	0—10	巴图姆植物园	$6.8 \cdot 10^{-3}$
紅 壤	40—50	巴图姆植物园	$1.3 \cdot 10^{-3}$

許多次試驗都証明了，銅是植物、动物以及人体所必需的元素。

土壤中含銅量不足时，就会发生植物的缺銅現象。結果新陳代謝受到严重的破坏。植株因此会蒙受表现为叶尖变白及变干的地方性病害。受病植株不能形成种子。禾谷类作物往往会猛烈分蘖，产量大減。某些泥炭地上的植株由于缺銅，結果全部死亡。文献中此病称为白瘟病（белая чума）或耕作病（болезнь обработки）。

在植物体中，銅是在生理过程中起着很重要作用的多酚氧化酶、乳糖酶、抗坏血酸氧化酶等許多种氧化酶的組成成分。多酚氧化酶系統是植物界中一个很普遍的系統。缺銅时这种酶就会失掉本身的活性。由于銅是多种酶及維生素(例如复合維生素 B)的組成成分，所以对于蛋白質、脂肪和炭水化合物的合成有极大的影响。抗坏血酸氧化酶就含有 0.15—0.25% 的銅。銅还有助于提高植物对真菌病害的抵抗力。

銅在微生物的生活中起着很大的作用。固氮菌 *Azotobacterum chroococum*、霉菌 *Aspergillus niger* 及某些其它种微生物，在缺銅的培养基上就不能形成黑色色素。培养基沒有顏色，而菌落則是白的。

缺銅时，黑麴霉的孢子形成迟緩，营养菌絲体能正常地发育。然而所得到的却是无芽胞的真菌培养物。此外，銅对于植物体中叶綠素的含量及稳定性也有良好的影响（奥昆佐夫 Окунцов, 1952）。在施銅和不施銅的泥炭地上培育的植株，銅的含量是不一样的（表14）。

根据 Г. И. 拉什克維奇的資料(1955)，不同的植物自土壤中吸收及带走的銅的数量也不一样，例如，每公頃 120 公担重（干物质）的大麻收获物，能带走 73 克的銅，每公頃 80 公担重的燕麦收获物能带走 34 克，每公頃 50 公担重的猫尾草收获物能带走 11 克等等。

这些資料表明，植物吸收的及在收获物中所带走的銅，为量极

表 14 植物体中的含銅量

(根据 C. A. 莫斯托娃的資料)

植 物	干 重 的 %	
	未 施 銅	施 銅
“留且斯岑斯”春小麦	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
“基且涅尔”春小麦	$2.7 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
“金雨”燕麦	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$4.4 \cdot 10^{-5}$
“崇高”大麦	$3.3 \cdot 10^{-5}$	$5.1 \cdot 10^{-5}$
飼用甜菜	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
馬鈴薯	$4.2 \cdot 10^{-5}$	$5.6 \cdot 10^{-5}$
烏足豆	$2.9 \cdot 10^{-5}$	$3.5 \cdot 10^{-5}$

少。而且,在泥炭地上,由于銅被有机物质所牢固的阻留,因此植物連保証正常发育所必需的那么少量的銅也不可能吸收。这种情况能使产量大減或引起植株全部死亡。例如,在 Г. И. 拉什克維奇(1952)所进行的試驗中,在未施銅的含鉄質碳酸盐的泥炭質沼泽地上的大麦、燕麦及小麦全部都死亡了。这块地上只有黑麦的产量是正常的(12.5 公担/公頃)。

如以黄鉄矿矿碴的形式施入銅时,那么,大麦、燕麦和小麦就能正常地发育,而且产量很高:大麦 15.7 公担/公頃、燕麦 10.3 公担/公頃、小麦 6.2 公担/公頃。黑麦对銅肥的施用,一般反应較差。根据 Г. И. 拉什克維奇的資料,黑麦的产量由 12.5 增加到了 18.7 公担/公頃。

谷类作物对缺銅是特別敏感的,可是銅对谷类作物的产量的影响,在不同的大面积泥炭質沼泽地上的表現并不一样。从援引在表 15 中的資料可以清楚地看出这点。

現在已能确定,含銅量少于 $1 \cdot 10^{-3}\%$ 的泥炭質沼泽土是缺銅的土壤。生长在未施銅的这种土壤上的植物,由于銅素不足而往往会遭受特殊的病害,即所謂耕作病。

在苏联,由于沼泽地的迅速开垦,而大大地扩大了有价值的工艺作物、蔬菜及谷类作物的播种面积。

表 15 在不同泥炭質沼澤土壤上銅對大麥產量的影響
(基肥 PK; 根據 Г. И. 拉什克維奇的資料)担/公頃

試 驗 處 理	沼 澤 試 驗 站			試 驗 分 站		
	莫斯科	基洛夫	波維列茨	布洛夫	彼爾柯夫	諾夫哥羅德
對 照	0.8	13.4	5.2	8.8	23.3	25.5
藍礬 25公斤/公頃	21.3	25.8	12.5	18.3	24.1	26.6
黃鐵礦礦渣 600公斤/公頃	21.4	26.7	14.3	17.8	23.6	24.9

許多次試驗都發現，在富含有機物質及氮素的泥炭地中，不施銅時，即使施用了足量的磷、鉀肥料，也不能獲得穩定的高額產量。

根據 М. Д. 巴胡林 (Бахулин) 的資料，在含灰量少的、低地與接近於過渡型沼澤土的泥炭地上，銅有最好的作用。在富於鐵、石灰，特別是含銅量低於 $6 \cdot 10^{-4}\%$ 或更少的藍鐵礦區而含灰量很高的低洼沼澤地，銅也有良好的影響。

可是，在粘土和礦質微粒的沖積土很豐富的、含灰量高的沼澤地，以及有薄層泥炭的沼澤地，銅的作用就較差。

在泥炭土中施用銅能使幾乎所有農作物的產量大為提高，而且能顯著地改善它們的質量。禾谷類作物籽粒的絕對重量能有所增加，大麻和苘麻的纖維出產率和韌度都有所加大，糖用甜菜、胡蘿卜及其它種作物的含糖量能有所增長，油料作物的脂肪的百分數也能有所提高。此外，由於銅的應用，還能大大加強植物對各種病害的抵抗力。

除泥炭土以外，銅是否還能影響其它種土壤上植物的發育呢？

文獻中已有的資料，使我們可以肯定地回答這個問題。例如，Н. С. 阿爾漢格爾斯卡婭 (Архангельская, 1952) 就曾研究在砂壤土上用各種方法施銅時對馬鈴薯產量的影響。我們把她的田間試驗結果援引在表 16 內。

從表 16 可以看出，銅不僅對收穫量有良好的影響，而且還能顯著提高植株對晚疫病的抵抗力。

表 16 銅对馬鈴薯產量的影响

(1946—1948年的平均材料)

試 驗 处 理	产 量		淀粉含 量%	大块莖的 数量%	罹晚疫病 的莖叶%
	公担/公頃	为对照的%			
对 照 (NPK)	174	100	13.2	66	70
NPK + 銅(于每棵株从下的 土壤施入 0.5 克 CuSO_4)	183	105	12.8	76	50
NPK + 用水噴射莖叶	161	100	13.3	64	40
NPK + 用藍矾溶液噴射莖叶	192	119	13.6	72	15

根据 Я. В. 彼伊維(1954)的資料,拉脫維亞苏維埃社会主义共和国土壤中銅的总含量和活性銅的含量,跟銅微量元素肥料对不同农作物的有效性是有密切的关系的。試驗結果如表 17。

表 17 拉脫維亞苏維埃社会主义共和国土壤中銅的总含量及活性銅含量

土 壤 差 异	风干土壤中的含銅量 毫克/公斤			銅肥对农 作物的效 能
	銅的总含量	在3N HCl 提取液中	在1N HCl 提取液中	
生草-碳酸盐,粉質中壤土,pH 7.2	18.5	5.0	4.6	无
生草-碳酸盐,粉質重壤土,pH 7.4	16.7	3.7	3.1	无
泥炭-潛育,砂壤土	11.5	7.7	5.5	弱
生草-強灰化土,pH 4.1	1.6	0.5	0.5	很高
生草-潛育,砂壤土,pH 5.4	2.17	1.1	0.8	很高
生草-潛育,飽和壤土 pH 7	6.7	3.8	2.7	高
低位泥炭地,pH 5.4(彼且林試驗站)	7.5	3.7	2.6	高
高位泥炭地,pH 4.8(彼且林試驗站)	4.2	3.6	1.2	高

如試驗所証明的,含銅 0.25—1%的黃鉄矿矿碴这种化学工业废料,是一种良好的含銅肥料。黃鉄矿矿碴最好是在秋天施用,不过也可以在春天播种以前 20 天施入,并随即細心复土。

在以磷鉀肥料为基础的泥炭土上,黃鉄矿矿碴及其它含銅肥料可以 4—5 年施用一次。磷鉀肥料則按定額每年施用。

采取播撒施肥法时,最适的,也就是說最好的黃鉄矿矿碴剂量是 500 公斤/公頃。在銅的作用比較微弱的泥炭土上,黃鉄矿矿碴

的剂量可减低一半。

采用按 15—25 公斤/公頃計算、4—5 年施用一次于播种前施入硫酸銅的方法,可以获得极好的效果。在活性銅含量很高的泥炭土,硫酸銅的剂量可减少到 10 公斤/公頃。

采用給田間已发育的植株通过叶片噴施硫酸銅的方法实行根外追肥,效果很好。为此目的可应用每桶水含 1.5—2 克的硫酸銅的溶液,用量是每公頃 600 升。

在植物生长时期,可使用馬拉或手提噴霧器进行 2、3 次的噴射。

A. C. 阿尔汉格尔斯卡婭的研究工作証明了,用根外方法施入的銅能自由地自馬鈴薯的叶子向块莖轉移(表 18)。

显然,应用波尔多液(硫酸銅和氧化鈣的混合液)作为防治真菌病害的杀菌剂,能产生双重的效果:杀死真菌寄生物及提高植物体对真菌寄生物的抵抗力,因此,銅是植物机体正常发育所必需的微量元素。

表 18 以各种方法施銅肥时,100克馬鈴薯块莖乾物質中含銅量的毫克数

試 驗 处 理	夏 天 采 集 的 样 品		秋 天 采 集 的 样 品
	莖 叶	块 莖	块 莖
对 照 (NPK)	3.2	1.5	0.5
NPK + 銅,施于土壤中	7.9	1.75	1.68
NPK + 用水噴射莖叶	3.5	1.5	0.57
NPK + 用硫酸銅噴射莖叶	22.0	2.57	2.62

用硫酸銅溶液浸种,效果也非常好。播种前用这种方法处理种子可以采用含 0.02%硫酸銅的溶液。使用噴霧器用这种溶液将种子均匀地浸湿两次。溶液量为种子重量的 4%。噴射以后应将种子仔細攪拌。

銅是动物机体正常机能所必需的元素。沒有銅,动物就不可能正常地发育,食物中含銅不足时也会罹致名为嗜异癖的地方性

疾病。例如，土壤中含銅不足的泥炭質沼澤土、沙土及其它土壤地区的牛，患这种病的最常見。牛的嗜异癖症与飼料中銅含量不足之間的关系已經由直接的試驗确定下来。爱沙尼亚苏維埃社会主义共和国的牛，多患嗜异癖症，此病在爱沙尼亚又名“沼地病”(И. А. 卡阿尔捷, 1952)。嗜异癖症的最初病征是失去对面粉和精飼料的食欲，后来則連粗飼料，特別是天然的沼地干草，也不想吃。病征在冬末及春天时(2、3、4月)最为明显。甚至于在牧場上放牧时，家畜的胃口也很坏，而且恢复得极慢。病畜感觉各种飼料都沒有味道，不愿吃普通飼料，却宁愿吃已腐敗的干草、馬鈴薯的莖叶等。生病乳牛的挤乳量銳減。

为了弄清牛嗜异癖发病的原因，爱沙尼亚苏維埃社会主义共和国塔尔图大学(Тартуский университет)畜牧試驗場进行了專門的試驗。受試驗的牛分三組，每組包括两头获得同等飼料的乳牛，飼料为沼地干草、藁稈、谷物混合飼料、谷物混合飼料所做的面粉及馬鈴薯。不过，供每一組乳牛食用的作物却是在不同的条件下栽培的：1) 已施磷鉀肥料但未施銅的普通土壤；2) 在磷鉀肥料的基础上只施用了銅的土壤；3) 銅和鈷一起施用的土壤。試驗进行了7个月。

試驗表明，以培育在同时施用了銅和鈷的土壤上的作物为飼料的那一組乳牛，完全防止了嗜异癖症的发生。以在未施銅的土壤上栽培的作物为飼料的乳牛，对面粉和馬鈴薯的食欲減低；以栽培在只施銅的土壤上的作物为飼料的乳牛，对面粉及所栽培的沼地干草的食欲減低。后兩組乳牛在試驗結束时均減少了相当多的体重，而以栽培在同时施鈷肥和銅肥的土壤上的作物为飼料的乳牛，在試驗完結时則分別增加了24.3和53.7公斤。

这些試驗表明，在爱沙尼亚苏維埃社会主义共和国，牛的嗜异癖症不只是由于銅含量不足，而且也是由于缺鈷而引起的，因而栽培在这种土壤上的飼料作物自然缺乏这两种微量元素。

Г. А. 巴本柯(Бабенко)的試驗証明了，向鷄卵中做銅生理浓度的一次有效的注射，能大大加快雛鷄的生长。雛鷄体重的增

加量与对照的比較,为 35 % (沃依納尔,1956)。

看来,和对植物及动物机体一样,銅也是人体的正常发育所需要的元素。由于銅是多种氧化酶的組成成分,所以銅在造血及組織呼吸过程中都起着重要的作用。

根据 A. O. 沃依納尔 (Войнар) 的資料,人的机体在青春时期对銅的需要量最大。

根据 A. O. 沃依納尔的資料,人体的不同器官中的含銅量如下(100 克鮮重中的毫克数):

脑.....0.81	腎.....1.42
小脑.....2.88	心.....1.34
胰腺.....0.87	肺.....0.89
脾.....0.72	肌肉.....0.64
肝.....4.02	

人体中的銅大多集中在肝內,而且胎儿的肝脏比成年人的肝脏的含銅量还要多很多。

文献中指出,人体新陳代謝的破坏是由于缺銅的結果。

尽管所有生物的正常发育对銅的需求量都很小,然而提高銅的数量也会带来很大危害。溶液中含銅 0.1 % 时,对植物体就会产生有害的作用。超过 0.6 克的硫酸銅的葯量,对于人和动物就是有毒的了。因此在应用銅制剂时必需格外謹慎。1—2 克的硫酸銅就会引起人和动物的中毒現象。

鈷

鈷属于在自然界中有广泛分布的元素。土壤、植物和动物机体內經常含有鈷。根据 Д. П. 瑪柳嘉的資料(1952),苏联各种土壤中的含鈷量如下(%):

泥炭-潛育土(西宾內)	$2.87 \cdot 10^{-4}$
生草灰化壤土(莫斯科州)	$8.55 \cdot 10^{-4}$
灰色森林壤土(莫斯科州)	$7.2 \cdot 10^{-4}$
普通黑鈣土(石阶农业試驗站)	$8.0 \cdot 10^{-4}$
亚速海濱黑鈣土(罗斯托夫州)	$1.1 \cdot 10^{-3}$
淡栗鈣土(罗斯托夫州)	$1.0 \cdot 10^{-3}$
半荒漠灰鈣土(鮑列茨国营农場)	$6.1 \cdot 10^{-4}$

柱状盐土	$1.2 \cdot 10^{-3}$
亚热带红壤(巴图姆植物园)	$1.3 \cdot 10^{-3}$
绿色棕钙土	$1.5 \cdot 10^{-3}$

人們从事于鈷在植物和动物生活中的作用的研究,并不很久,是在 20—25 年以前才开始的。

在文献指出了牛、綿羊和山羊的严重貧血病与飼料中含鈷量之間的直接关系以后,鈷才引起了人們的注意。

家畜的貧血病是一定地区的特有疾病。既有的医治方法对这种疾病都是无能为力的。

此病各国名称不一,如“海岸病”、“沼地病”等等。只是根据近几年来所获得的精确的試驗資料,才确定了此病是由于飼料中含鈷量不足所致。动物机体通过植物性食物摄取鈷,而植物体中含鈷的多寡則以土壤中易吸收态的这种元素的存在量来决定。

可見,如果土壤中含鈷不足,那么生长在这种土壤上的植株的含鈷量势必也很低。

以缺鈷飼料为食的家畜,会感到鈷的不足,这是家畜患怪异貧血病 (экзотическая анемия) 的起因。家畜的抑郁状态、食欲丧失、虛弱、体重減輕、血液中紅血球 (包括紅血球及血紅素) 数目的減少等都是此病的特征。已得病家畜的皮毛失去光泽和弹性。

鈷在动物机体中有怎样的生理作用呢? 名为維生素 B_{12} 的这种特殊活跃的生物物質中就含有鈷,这种維生素在动物的造血作用中有着重要的作用。維生素 B_{12} 含鈷大約有 4.5%。大家知道,維生素 B_{12} 是由各种微生物制造成的。植物和动物都不能合成这种維生素,但是却都需要这种維生素。

維生素 B_{12} 是由包括細菌、真菌和放綫菌的各种微生物的代表所合成的。結晶态的維生素 B_{12} 是由动物的肝及 *Streptomyces griseus* 的某些菌系的培养基中分离出来的。

缺乏含鈷維生素 B_{12} 的人就会得恶性貧血病。

与缺鈷有关的严重貧血病在拉脫維亞苏維埃社会主义共和国各地区以及苏联其它許多地区都是广泛流行的疾病。因此在拉脫

維亞蘇維埃社会主义共和国曾就不同土壤中鈷的含量問題进行普遍的研究。已經弄清,各种土壤均含有鈷(1公斤土壤中的毫克数):

生草-灰化沙土	0.4—1.5
生草-灰化砂壤土	1.7—2.5
生草-灰化壤土及灰鈣土	2.5—4.0
生草-潛育及暗色沼澤土	1.0—2.0

分析結果表明,最缺鈷的是輕沙土,以及波罗的海和里加灣沿岸的沼澤土,含鈷最多的是壤土。

調查发现,土壤中可吸收态鈷含量不足的、即1公斤土壤中含鈷1.5—2.0毫克的地区,牛、綿羊和山羊得貧血病的最多,此病在拉脫維亞称为消瘦病(Сухотка)(图4),而在苏联其它地区則名为怪异貧血病。生长在这种土壤上的植株含鈷很少(每公斤干重0.04毫克)。这些地区几乎每头牛都患消瘦病,此病无适当治疗方法,因此往往会引起家畜的死亡。

疏松生草-灰化土、沙土、泥炭土及沼澤土都是最缺鈷的土壤,含鈷量为每公斤土壤0.4—1.5毫克。在每公斤土壤含鈷2.5—4.0毫克的地区,几乎完全沒有发现过家畜的消瘦病。

所进行的研究发现了,泥炭質沼澤土及灰化土中的鈷多半与有机物质結合在一起。

不仅拉脫維亞蘇維埃社会主义共和国,而且苏联其它許多地区也都有缺乏植物易吸收态鈷的土壤,例如白俄罗斯、烏克蘭以及俄罗斯中部許多地区,等等。根据B. B. 柯瓦爾斯基(Ковальский)的材料,在雅罗斯拉夫州的許多区都有缺鈷的土壤。因此,这些地区的羊,特別是羊羔往往患怪异貧血病。

为了拟訂消瘦病的防治措施,拉脫維亞科学院动物飼养及动物卫生研究所的科学工作队在Я. М. 別尔金(Берзинь)院士的领导下,用牛、羊和猪进行了19項科学管理試驗。

对应用鈷盐和銅盐作为防治各种疾病的葯剂曾进行过研究。这两种盐先是以溶液的形式、后来則是以食盐加氯化鈷和硫酸銅制成的1克片剂的形式給家畜服用的。這項研究工作确定了,应用

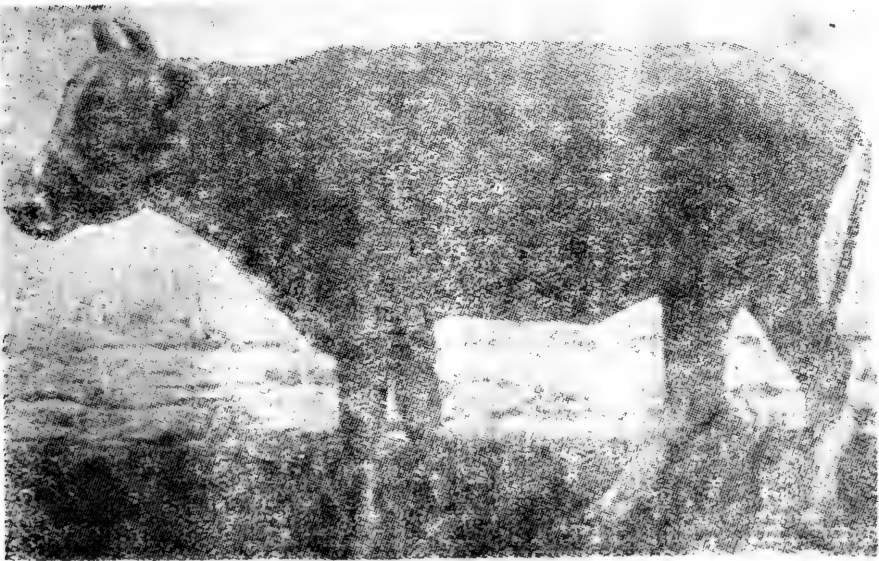


图4 患消瘦病的乳牛(上) 用钴盐医愈后的同一乳牛(下)
(根据 Я. М. 别尔金)

氯化鈷作为矿质补充飼喂,对已得消瘦病的农畜有治疗的效果,而对健康的家畜則有預防的作用。服用了鈷制剂的家畜对各种传染性疾病都变得不太敏感。家畜的生产力(挤乳量、活重增加)也能大为提高。

根据 Я. М. 別尔金(1952)的資料,在食物中加入按 100 公斤活重 1 毫克計算的氯化鈷,可以預防消瘦病,并且 15—19 天就可以完全医癒患病农畜。

Н. П. 舍尔根(Шергин, 1956)在雅罗斯拉夫州彼得罗夫区以綿羊作了試驗。以每日 3 毫克的药量給病羊服用了 1 个月的氯化鈷。結果,家畜的健康状况有了显著的改进,各器官中的維生素 B₁₂ 的含量也都有所提高。

根据 В. В. 卡瓦尔斯基的資料(1952),应用鈷矿质补充飼喂可減少羊的死亡达 75%,并且能使家畜的体重大为增加。

在 Е. И. 西蒙(Симон)和 С. Н. 霍丽娜(Хорина, 1956)的試驗中,服用了鈷制剂的仔猪,体重增加超过对照仔猪达 87.5%。

在 Б. 馬拉什卡且(Малашкайте, 1956)用鵝所作的試驗中發現,以每公斤活重每昼夜 1 毫克鈷的药量給鵝服用时,与对照鵝相較,产卵力提高了 30.4—42.5%,幼鵝的出生率也提高了 20.5—40.9%。

П. М. 帕依茲曼(1956)在用家兔所作的試驗中,采用了鈷补充飼喂,每星期 1 毫克氯化鈷,結果,采毛量平均增加了 25—30%。

С. Д. 莫洛佐夫(Морозов)和 С. С. 薩維茨卡婭(Савицкая, 1956)在吉尔吉斯苏維埃社会主义共和国,进行过用鈷給羊作补充飼喂的試驗。氯化鈷是按每头家畜每星期 20 毫克的药量服用的。

在“柯克-薩伊”和“托馬奇”两国营农場,7 个月的时间內服用了 220 毫克氯化鈷的試驗母羊,活重比对照母羊增加了 3.31 公斤还多,血液中血紅素的含量也有所提高。

他們在給不同生长齡的馬作鈷补充飼喂时,也获得了良好的結果。

不过,鈷对植物发育的影响,研究得还不够。

已經确定,在已施石灰的土壤上施用小剂量的鈷时,能显著提高作物的产量(O. K. 凱得洛夫-季赫曼,1956)。

O. K. 多布罗留布斯基 (Добролюбский) 在黑鈣土土壤上用葡萄和茄子所作的試驗和 A. H. 科尔沙柯夫(Коршаков)进行的播种前处理大麦种子的試驗,也都由于应用了鈷而获得了良好的功效。

然而,这个問題以及其它类似的問題,都还需要作进一步的研究。

錳

自然界中的錳常見的是它的几种含氧化合物,其中最重要的是二氧化錳(MnO_2)。

根据 B. И. 威尔納茨基的資料,全部地壳中大約有 0.1% 的錳。根据不同作者的資料,苏联各种土壤中錳的含量如下(%):

苏联黑鈣土	0.11	克里米亚土壤	0.40
北方灰化土	0.38	古班黑鈣土	0.30
莫斯科土壤	0.38	布略特-蒙古土壤	0.55
唐波夫黑鈣土	0.36	乌克兰土壤	0.04
栗鈣土	0.26	薩拉托夫黑鈣土	0.60
森林土	0.46		

土壤中的錳有两种主要的形式——易溶的或可吸收的和不可溶的或植物难于吸收的。

在酸性土壤中常发现有易移动的可溶性錳。錳的移动性在很大程度上依从于土壤細菌的生物活性、土壤的氧化还原和其它土壤性质。

錳在呈硷性反应的土壤中容易被氧化,变成不可溶的因而是植物难于吸收的形式。所以說,土壤中錳的总含量并非就是能表征供应植物以可給态錳的指标。土壤中可能含有多量的錳,但植物仍然会感到錳的极端缺乏。

錳是所有生物——植物、动物、細菌等——的組成成分。植物体中的錳含量測得为千分之儿到万分之儿,而动物机体中則含有

万分之几到十万分之几。然而也有这样一些生物体，其中錳的含量竟达1%(威爾納茨基,1954)。

在文献中长期进行着有关生物正常发育对錳的需要程度的爭論。最初的几次試驗并未証实植物正常发育对錳的必要性，因而曾被归入不必要元素之列。但是，科学研究工作并未中断，并且不久便获得了一些重要的結果。在精密設置的盆栽試驗中，发现了低浓度的錳对植物的发育有良好的作用。也查明了，許多种盐都含有相当数量的錳作为相伴的夹杂物。鉄盐中尤其常混有錳，而且极难純化。

不久，根据許多次試驗結果，开始确認錳是所有生物的正常发育所不可缺少的元素。

現在已发表了許多有关錳的书籍，其中俄国学者的著作有着特殊的价值。B. И. 威爾納茨基的“地質化学概論”清晰地敘述了錳的地質化学。A. П. 維諾格拉多夫的“土壤中稀有元素的地質化学”一书，对土壤中錳的含量有独到的見解。有关錳在植物体中的作用的則有 A. A. 哈里捷夫(Хализев)的文献彙編“化学刺激剂”等著作。

使用純化了的培养液所作的精确的生理試驗証明了，植物沒有錳便不可能正常的生长，不足时也会蒙受特殊的病害。

土壤中或人造培养液中缺錳时，植物的叶子上就会出现淡綠色的斑点，几天的時間就会遍及植株全部。若施入少量的錳，植物很快即可复原，并能有很高的产量。

食物中錳素不足时，往往会发生动物机体骨骼形成的迟滯，以及总的生长的減慢。

由于錳是許多种氧化酶的組成成分，所以錳在植物及动物机体中有最重要的生理作用。同时錳还能提高其它种酶(例如磷酸酯酶、精氨酸酶等)的活性。此外，錳对高等植物的呼吸也有重大影响，并能提高光合作用的強度。植物的叶子中錳的含量不足时，叶綠素的含量会显著減少，产量降低，质量恶化。微生物在合成各种物質时也普遍地需要錳。对許多种微生物的正常发育來說，錳

也是不可缺的。例如，鏈球菌在无錳时便不能发育。細菌中有个别一些菌种对培养基中錳素不足极为敏感，所以可以用来作为錳的指示剂。

将植物栽培在純化了培养基的培养器中，可以查明植物对錳的需要量。

为了使植株能正常地发育，于基本营养物质之外，每升营养液补施 2 毫克的錳就足够了。可見，植物对錳的需要量是很少的。

在含有多量易溶态錳的酸性土壤中，不必另施錳肥。只有在施过石灰的土壤上，錳才能产生肯定的作用。

呈硷性反应的土壤中的錳为慢移动态，在这种土壤中施用錳，对許多种作物都是有益的。直接的試驗也可以証实此点。

在苏联，П. А. 甫拉修克(Власюк, 1952)就錳在植物体中的生理作用及其对产量及产品质量的影响等方面的研究，所作的工作最多。他的研究发现了在土壤中或培养基中可吸收的錳素不足时，植株的叶子就会充滿同化作用的生成物，这些生成物向根、叶等其它器官移动得非常緩慢。因此就減慢了植物的生长，并使产品质量恶化。錳能显著提高轉化酶的合成能力，增加过氧化物酶、多酚氧化酶及过氧化氢酶等的活性，以及改善植物的呼吸机能。

П. А. 甫拉修克的許多試驗也确定了，于土壤中施入一定剂量的錳能增加糖用甜菜的产量及含糖量，提高馬鈴薯的淀粉含量、小麦的蛋白質含量等等。給时常缺錳的果树追施錳肥，也能产生良好的效果。

П. А. 甫拉修克提出了一种新的錳微量元素肥料——含二氧化錳 9—15% 的錳矿工业的废弃物即錳矿碴。錳矿碴的施用量要由土壤性質来决定(表 19)。

作根外追肥可用含 0.05—0.1% 硫酸錳溶液，每公頃噴射量为溶液 600—700 升。根外追施錳肥最好进行两次，一次在旺盛生长时期，一次在开花初期。

播种前用 0.15—0.09% 的硫酸錳溶液浸种，效果很好。种子可以用这种溶液处理两次。所用溶液量为种子重量的 4%，浸湿

表 19 給不同土壤施用的錳礦渣的劑量 (公担/公頃)

施入方法	土 壤			
	弱淋溶黑鈣土	灰化土及灰色森林土	弱鹽土變質礫土	棕壤及其它種土壤
深翻耕時	3.0	1.5	2.5	2.0
條施及穴施	0.2	0.1	0.1	0.2
追 施	0.5—1	0.2—0.5	0.3—0.6	0.3—0.5

后将种子仔細攪拌。

用来培育幼苗的营养钵的成分中，每公斤混合物可加入 20—30 毫克的硫酸錳。

根据 Г. А. 阿立也夫 (Алиев, 1956) 的資料，由于在栗鈣土上每公頃施用了 12 公斤的硫酸錳，結果籽棉的收获量与对照地相比較，每公頃提高了 4.3 公担或 19.8%。在田間試驗中，由于采取給植株噴射 0.25% 硫酸錳溶液的方法实行了根外追肥，籽棉产量增加达 7.18 公担/公頃，即 35%。

不过，应当指出，某些灰化土中移动态錳的含量过多。在这类土壤上施用錳微量元素肥料，对植物的发育可能有不良影响。在应用錳肥时，这种情况是必需注意的。

鉬

地壳、土壤、天然水及各种生物体中均經常存在有少量的鉬。地壳中鉬的含量在万分之几到十万分之几之間。

根据 X. Г. 維諾格拉多娃 (1952) 的資料，土壤中鉬的含量在 $1.5 \cdot 10^{-4}$ — $1.2 \cdot 10^{-3}\%$ 之間。

禾本科植物的种子中大約含 $2.7 \cdot 10^{-5}$ — $1 \cdot 10^{-4}\%$ 的鉬，而在豆科植物的种子中含量就較多。例如，菜豆的种子大約含鉬 $2.1 \cdot 10^{-3}\%$ (維諾格拉多娃, 1952)。

豆科植物的根瘤中含鉬很丰富，例如，羽扇豆的根瘤含 $1.7 \cdot 10^{-3}\%$ ，三叶草的根瘤含 $1.1 \cdot 10^{-3}\%$ 。

鉬在植物生活中的作用，目前还缺乏研究。鉬的生理作用研究史，总計不过 20 年左右。

在植物的灰分中，早就发现有鉬，然而有很长时期却把它当作了偶然的污垢。

1930 年巴尔且尔斯 (Бартельс) 发现，豌豆、大豆及三叶草等在有少量鉬的情况下，不仅能发育得好，而且还有較高吸收空气氮的能力。在另一些試驗中也发现玉米的幼苗在有鉬的情况下，比对照植株有較好的发育。E. B. 鮑布柯(Бобко)和 A. Г. 薩維諾娃 (Савинова, 1940) 的試驗証明了，鉬对于水耕培养的豌豆的发育有极好的影响。沙土及土壤栽培中，鉬的作用就較差。

在研究鉬对植物的发育、豌豆根瘤的形成、以及各器官中氮素含量等方面的影响时，我們进行过几年的田間試驗和盆栽試驗。

盆栽試驗是在容量为 6 升的玻璃容器中进行的。試驗所应用的是蒸餾水。鉬的作用是在含有硼和錳的完全营养液中进行研究的，并以无鉬的营养液作为試驗的对照。鉬以鉬酸鈉的形式施入。試驗用的豌豆曾事先在网上催芽，当根已长达 6—7 厘米时移植于盆鉢內。栽植后过两天就用根瘤細菌 *Bacterium radicola* 的純粹培养接种。

在三叶草的田間試驗中，是以鉬酸銨的形式、按每公頃 12 公斤計算施入的。試驗小区的面积是 10 平方米，試驗重复 4 次。表 20 中所引用的是盆栽試驗結果。

表 20 鉬对豌豆的產量及根瘤的形成的影响

試驗处理	营养器官的重量		种子的重量		根的重量		根瘤的重量 克/盆
	克/盆	%	克/盆	%	克/盆	%	
对照(无鉬)	15.1	100.0	6.3	100.0	1.5	100.0	0.0
鉬 0.1 克/升	16.4	108.6	7.1	112.7	1.6	106.6	0.4
鉬 0.5 克/升	17.6	116.5	8.1	128.5	1.8	120.0	0.6
鉬 1.0 克/升	20.1	133.1	9.4	149.3	1.9	126.6	1.6
鉬 2.0 克/升	18.6	123.1	7.7	120.6	2.1	140.0	1.7

从表中可以看出，无鉬的盆鉢中，豌豆风干的营养体的重量为

每盆 15.1 克,种子重 6.3 克,根重为 1.5 克。在无钼的盆钵中,虽然在培养基中也有根瘤细菌存在,可是在花盛期及果实形成时期以前,在豌豆根部并无根瘤出现。在开始结实时才有根瘤形成,然而也是极小的点状,并且到生长期末一直保持这样的大小。因为在作试验统计时,不能将根瘤从根部分开,所以用重量法(весо-вой метод)计算时只能假定根瘤的重量为零。

在有钼的盆钵中,在用培养菌接种后的第八、九天,植株根部即已开始有根瘤出现。随钼的剂量的增大,根瘤发育的强度也有所提高。在生长期末,根瘤即达到可以很容易地自根部取下及进行称量的大小。和对照盆钵一样,细小的根瘤均未计算在内。

在我们所进行的试验中,每升营养溶液 1.0 毫克的钼,效果最好。营养体的增产量为 33.1%,种子重增加 49.3%,而根重则增加 26.6%。根瘤重量总计 1.6 克。每升营养溶液 2 毫克钼的最高剂量,与上面 1.0 毫克的相比,效果反而较差。

表 21 中援引的是钼对于豌豆的营养器官、种子及根中的氮素含量的影响的研究结果。

表 21 钼对豌豆植株各部分中氮素含量(%)的影响
(换算为绝对干重) 盆栽试验 1944 年

试 验 处 理	营 养 器 官		种 子		根	
	氮素含量	与对照相 较氮素含 量的增加	氮素含量	与对照相 较氮素含 量的增加	氮素含量	与对照相 较氮素含 量的增加
对照(无钼)	0.81	100.0	2.04	100.0	1.45	100.0
钼 0.1 毫克/升	0.92	113.5	3.16	154.9	1.71	117.2
钼 0.5 毫克/升	0.97	119.9	3.52	172.5	2.31	158.8
钼 1.0 毫克/升	1.53	188.8	3.85	188.7	2.41	161.7
钼 2.0 毫克/升	1.53	188.8	4.38	209.8	2.60	179.2

从表 21 可以看出,钼对于植株所有各部分中的氮素含量都有良好的影响。同时还发现有以下的从属关系,即随根中氮素的增加,各营养器官和种子中的氮素含量也相应地有所提高。根部氮素的增加与根瘤细菌吸收大气氮,无疑是有直接的关系的。

根瘤中总氮量的测定，证明了根瘤中所含的氮与它们所在的根相比较，多 77.4%。

为了弄清于一般已含有钼的土壤中施钼对豆科植物发育的影响，1946 年在 K. A. 季米里亚捷夫农业科学院育种试验站用三叶草进行了田间试验（一次收割的“雅罗斯拉夫”品种）。

在田间试验中，钼是在氮、磷及钾肥的基础上按每公顷 12 公斤钼酸铵计算施入的。在田间试验的条件下，钼对三叶草地上部和种子的产量发生了良好的作用，例如，在对照小区，风干地上部的收获量为 23.2 公担/公顷，种子是 1.1 公担/公顷。由于钼的施用，地上部的产量增加了 69.9%，而种子则增加了 90.9%。

为了更完全地阐明钼对三叶草种子形成的影响，曾统计过在无钼的（对照）及有钼的各小区内生长的三叶草头状花序中种子的数量。从每一块小区采摘了 100 个头状花序，计算每个头状花序中花的数目和已形成的种子的数量。统计结果表明，无钼的对照小区，只有 39.8% 形成了种子，而在有钼的小区则有 57.1%（风干重）。

盆栽试验的对照盆钵中植株的死亡，以及田间试验中无钼的对照小区上的三叶草的严重的细碎性（изреженность），无疑是由于土壤中钼的含量不足所引起。

1947 年秋，将收获物收割后，曾进行植物体中钼的含量的测定（表 22）。

表 22 三叶草植株各部分中的钼的含量*

试 验 处 理	风 干 重 中 的 含 钼 量 %		
	地 上 物 质	种 子	根
对照小区的三叶草	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
增施钼的小区的三叶草	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$

* 植株中钼的测定是 X. Г. 维诺格拉多娃进行的。

从表 22 中所引证的资料可以看出，已施钼的小区中的三叶草

各地上器官、种子和根中鉬的含量，大致为对照小区上的植株的含鉬量的 10 倍。如上面所指出，提高了植株中鉬的含量对三叶草的发育有良好的影响。

对照小区的植株中的含鉬量是三叶草的平均正常含鉬量，不过我們所研究的只是对照小区中生存下来的及正常发育的植株，而并未测定已死植株中的鉬。此外，从我們的观察可以看出，快到秋天时植物体，特别是种子，将增多鉬的积蓄。

我們还要講到一个很有趣的事实。我們的試驗地段是与多年連作三叶草、且发现有“三叶草疲劳”現象的季米里亚捷夫农业科学院的田地相接壤的。我們的試驗对照小区上的植株的变黄及局部死亡現象与“三叶草疲劳”的征象完全相似。“三叶草疲劳”可能是由于土壤中植物可給态的鉬含量不足所致。

“健壮的”及“疲劳的”土壤中，以及自两种土壤上采集的三叶草的灰分中，鉬的含量大致为 1 与 2 之比。我們知道，甚至把土壤中这种元素的平均含量略为增加或减少一些，都不仅会引起植株的特殊病害，而且还可能大大改变植物的种属成分。应当指出，在距离我們的試驗地段不远的季米里亚捷夫农业科学院育种站相邻的田地里，同一年播种的三叶草发育得也很坏，在第二年又重新耕过。

因此，根据我們的試驗資料，以及其他作者們的試驗結果，我們應該承認，少量的鉬对植物的正常发育以及根瘤細菌的发育都是必需的。

鉬的生理作用原来比人們所認為的更要大些。

施欽別尔 (Штейнбер, 1937) 在自己的試驗中証明了鉬对真菌 (*Aspergillus*) 正常发育的必需性。而且也注意到，如果氮素来源是硝酸盐的話，真菌对鉬的需要量还要加大，而以氨态氮或有机态氮为营养时又会大为减少。施欽別尔根据自己的試驗提出了有关蛋白質在植物体中合成时硝酸盐的还原需鉬的見解。

穆立杰尔 (Moulder, 1948) 在以高等植物所作的試驗中发现，鉬参与硝酸盐的还原，并且証明了无鉬时植株的叶子会发生硝酸

盐的积累和蛋白质态氮的形成。这样一来，植物缺氮和钼含量不足有相同的征象就是可以理解的了，这种情况我们在自己的试验中也清楚地看到过。

钼对几乎全部所试植物的产量都有极好的作用。例如在凯得洛夫-季赫曼、И. А. 切尔纳维娜 (Чернавина)、В. В. 雅克福列娃及 М. Я. 施柯尔尼克等人的试验中都确定了，在不同时期以不同方法施钼于土壤中，都能显著提高谷类、蔬菜及其它种作物的产量。

根据现有的试验资料，于土壤中施用 1.5—2.0 公斤/公顷的钼，应当看作是中等剂量。根外追施时应用 0.05 % 的钼酸铵溶液，用量为每公顷 600—1000 升。

播种前处理种子应采用含 0.01—0.07 % 钼酸铵的溶液，用种子重量的 4 % 的这种溶液处理两次。

钼在动物机体生活中的作用，研究得还很不够。

根据现有资料，钼是硝酸还原酶的活性基。

作为酶系统的一种结构成分的钼，不仅为植物所必需，而且也是动物机体所不可缺少的。近年来发现动物组织的成分中，可能有黄嘌呤氧化酶和醛酸氧化酶之类的化合物，而钼则是这两种化合物的必要组成成分(瓦依纳尔, 1956)。

饲料中过量的钼往往会引致家畜的慢性钼中毒(牛、羊等的腹泻)。钼的有害作用在不同的家畜体中的表现并不一样。牛和羊最常患这种病。马和猪对饲料中过多的钼则有较大的抵抗力。

鋅

地壳、土壤、天然水以及植物和动物机体內通常均含有鋅。

地壳中含鋅大約有 0.02 %。不同土壤中鋅的含量是不一样的。土壤中含鋅量以形成土壤的成土母质和有机物质的成分来决定。成土母质含鋅丰富的地方，土壤中含鋅就较多。有多量有机物质的土壤，一般含鋅也较多。鋅在土壤中的移动性在很大程度上与土壤的物理性质、微生物过程及周围环境的酸度有关系。根

据 A. П. 維諾格拉多夫(1950)的資料,各种土壤中鋅的含量(%)是:

山地寒原	$5.3 \cdot 10^{-3}$	亞速海濱黑鈣土	$6.3 \cdot 10^{-3}$
灰化土	$3.3 \cdot 10^{-3}$	淡栗鈣土	$5.3 \cdot 10^{-3}$
灰色森林土	$2.8 \cdot 10^{-3}$	荒漠灰鈣土	$3.9 \cdot 10^{-3}$
粘性黑鈣土	$9.0 \cdot 10^{-3}$	紅壤	$4.6 \cdot 10^{-3}$
壤質黑鈣土	$7.3 \cdot 10^{-3}$		

在植物的灰分中很早以前就发现有鋅。然而只是在发现了,在鋅矿层的土壤上生长的某些植物虽然有較高含鋅量却有很好的发育这种情况以后,才注意到鋅的生物学性質。在这样地区,分离出了一种特殊的植物种属。这一种属的植物如莖菜、款冬等,都能浓聚相当多的鋅(达百分之几)。

在普通土壤上生长的植物,含鋅不多,十万分之几到百万分之几。根据 A. O. 瓦依納尔的資料,100 克鮮重中鋅的含量的毫克数为:

小麦	16	結球甘藍	1.6—1.9
黑麦	12	萵苣	4.7
大麦	18	洋葱	13.8
玉米	18	番茄	2.4
稻米	2.5	菜豆	52.5
稻糠	30	豌豆	44.5
燕麦	19.5	苹果	0.4
荞麦	10.0	梨	1.6
馬鈴薯	4.0	葡萄	2.0
食用甜菜	9.3	檸檬	3.3
胡蘿卜	1.1—4.9	櫻桃	1.5
小洋蘿卜	1.6		

俄国学者 Г. Г. 古斯塔夫松 (Густавсон) 还在 1881 年就曾指出鋅的生物学性質的重要性。他发现某些需要高温的有机化合物反应,在有少量氯化鋅或溴化鋁存在时,于通常温度之下,往往几乎在瞬間即可完成。

但是,鋅的最初几次試驗并未能产生預期的結果。高剂量的鋅对植物体总是有不良影响。每升营养液中施入 0.1 克或更高剂量的硫酸鋅,結果反而抑制了作物的生长。

这些試驗以后,鋅即被归入有毒化学元素之列。

可是,当減低了鋅的用量时,不只在純粹的培养液中,而且在土壤中培育的許多种植物,都获得了良好的效果。

在最新的一些研究作品中,我們有必要指出 M. B. 卡塔雷莫夫及 A. A. 师尔碩夫(1952)所进行的盆栽試驗結果。这些試驗研究了鋅对于豌豆、菜豆、大蒜、大麦及小麦的产量的影响。鋅是以硫酸盐的形式、按每公斤土壤 2.5 毫克計算施用的。对于在已施和未施石灰的土壤上鋅的作用都进行了研究。

我們將豌豆、菜豆和大蒜的試驗結果援引在表 23 內。

鋅对于所有这三种作物均有良好的作用,特別对大蒜,作用更佳。在未施石灰的环境中大蒜的产量由于鋅的施用而增加了 1 倍。由于大蒜对土壤酸度有很高的敏感性,这样的产量还是低的。石灰的施用大大地提高了对照(完全肥料无鋅)大蒜的产量,而在石灰的基础上施鋅,結果更使大蒜产量增加到 67.3 克/盆。

表 23 鋅对豌豆、菜豆及大蒜的产量的影响(克/盆)
(根据 M. B. 卡塔雷莫夫, A. A. 师尔碩夫的资料)

产 量 鑑 定	未 施 石 灰		在 石 灰 的 基 础 上	
	完全肥料无鋅	完全肥料有鋅	完全肥料无鋅	完全肥料有鋅
豌 豆				
总 产 量(干重)	26.7	30.2	55.8	66.8
种 子 产 量	9.2	11.6	26.7	34.5
菜 豆				
总 产 量	30.2	31.1	53.5	66.5
种 子 产 量	8.7	8.8	12.5	19.2
大 蒜				
总 产 量(干重)	1.9	4.0	29.5	49.1
大蒜头的产量(鲜重)	3.6	7.0	41.2	67.3

鋅对于已施及未施石灰的环境中的豌豆产量也有良好的作用。而对菜豆則只在已施石灰的基础上,鋅才能有作用。鋅对灰化土上的燕麦产量及灰鈣土上的大麦产量都有良好的影响。

这些試驗結果表明,在苏联,有些地区的土壤不能完全保証植物对鋅的需要。

对植物来講,严重缺鋅的土壤在美国最常发现,在美国发现有許多缺鋅引起的特殊植物病害。在加利福尼亚州,生长在沙土上的 10—15 生长龄的果树,罹小叶病 (мелколистность) 的很普遍。在春天有极小的、皺縮的叶子形成是此病的特点。严重罹病的果树会发生树枝的衰亡,或根本不形成果实,偶或結实,也是小的而且是畸形的。此病最可靠的防治方法是在土壤中施入少量的鋅。

都知道柑橘类植物的病害是叶斑病。此病的特征是在叶脉間有黄色的小区形成,因此叶片呈斑点状。叶子繼而变成黄白色,并逐漸衰亡。此病往往能引起全树的死亡。

这种病害的致病原因很久未能查明。只是在不久以前才証明了病因是土壤中缺乏可吸收态鋅。

土壤中鋅含量不足也能引起胡桃的簇叶病 (розеточная болезнь)。此病的特征是在嫩枝末端的叶片上有黄色的斑点出現。

土壤中缺鋅时,油桐的叶子呈青銅色,并且逐漸脫落。因而得名青銅病 (бронзовая болезнь)。此病往往在早春和初夏时出現。已罹病的植株最易受低温的影响。这样的植株在冬天可能会冻死。

上述各种病害很容易治癒,方法是在土壤中施鋅,或用鋅盐的稀溶液噴射植株的叶片。

玉米缺鋅时会发生尖端变白的現象。此病名为白芽病 (белая почка)。已受病的植株有显著的減产。

营养液中缺鋅时,小麦的叶片上会出现灰綠色的斑点,叶子随即衰亡。

因此,根据現有的丰富的文献資料,已經可以确定少量的鋅是所有植物的正常发育所不可缺少的。

鋅的微量元素肥料的实际应用,不久的将来即可实现。

目前在这方面正在进行大規模的研究工作。

鋅作为微量元素肥料可按每公頃 15—20 公斤硫酸鋅的剂量施用。作根外追肥及播种前浸种可以采用 0.05—0.10 % 硫酸鋅的

溶液。

鋅是所有动物机体的組成成分,并且不同器官的含鋅量不同。含鋅最多的是肝脏、生殖器官、肌肉、胰腺和骨骼(表 24)。

鋅为动物所必需,也可以根据另一些事实来判断。例如,鋅是在动物及植物的生命活动中起着最重要作用的碳酸酐酶、脲酶等許多种酶的組成成分。

排除了鋅,上面列举的各种酶的活性就会減低,而且只有在补充了鋅以后才能复原。

碳酸酐酶是酶分子中含有鋅的各种酶中的最重要的代表。它的作用在于結合和分离机体中的二氧化碳。鋅能大大加强与生长和繁殖过程有关的其它許多种酶的活性。

已經确定了,鋅对于組織代謝及呼吸器官的功能有相当大的作用。鋅能使性激素的活性大为提高。

表 24 动物各器官中鋅的含量(根据 A. O. 瓦依納尔的材料)

器 官	100 克 新 鲜 物 質 中 的 毫 克 数		
	牡 牛	馬	羊
肝	3.45—8.33	7.5	3.9
脾	2.76	4.5	—
腎	1.89	—	1.9
胰 腺	3.48	—	—
甲 状 腺	1.95	—	—
脑	1.35	4.3—6.2	1.8
辜 丸	1.36	22.7	1.5
肌 肉	4.5	6.0	—
心	—	1.5—7.1	—
骨	—	31.0	—
肺	—	1.1—3.9	—

A. O. 瓦依納尔(1955)的研究証明了,胰腺、性腺及垂体中的含鋅量最高。尤其是精液中含鋅更多。

根据 O. B. 尼古拉耶夫(1956)的資料,动物因缺鋅而引起疾病时,发现有生长和发育迟緩以及明显的不妊症等現象。

稀 土 元 素

稀土元素(通常以符号 TR 代表)最初发现于 1794 年。

稀土族包括 14 种化学性质极相似的元素(钪、镧、铈等)。欲分开它们以获得单一的元素是很困难的。此族元素在 Д. И. 門捷列夫元素周期系中占据着一个特殊的位置。总合起来称它为镧系。

稀土族元素具有天然放射性,因为其中存在有钷、镅及铯三种放射性元素。

稀土元素在自然界中照例都是在一起发现,可是在不同的矿物中,它们的含量却不一样。

通常,在一些矿物中钪族元素为数较多,而在另一些矿物中主要的则是钇族元素,因此稀土元素又可分为钪土族和钇土族。

在苏联有许多矿产地均蕴藏有稀土元素矿石。

稀土元素经常存在于土壤中及植物和动物的机体之内。根据 И. Д. 斯达林克维奇-鲍尔涅曼(Старинкевич-Борнеман)、С. А. 鲍罗维克(Боровик)和 И. Б. 鲍罗夫斯基(Боровский)的研究,土壤中大约含有 0.02 % 的稀土元素,而植物的灰分中则大约有 0.002—0.0051 %。

不同植物所含稀土元素的数量是不相同的。根据上面几位作者的资料,羽扇豆及糖用甜菜中稀土元素的含量就较高。

稀土元素经常作为杂质而存在于最主要的几种磷肥中,如磷灰石(0.7—3.5 %)、纤维磷灰石(0.05—0.8 %)、骨粉(约 0.8 %)及过磷酸石灰等。可见,在我们施用磷肥时,同时也就在土壤中施入了稀土元素。稀土元素自土壤进入植物体,并通过植物而进入于人和动物的机体之内。

存在于植物体中的稀土元素,对植株的发育和生长无疑是有一定的作用的。但究竟有怎样的作用,目前还不知道。

1935 年我们研究了从西宾内开采的磷灰石中分离出来的稀土元素对不同植物的发育的影响。单纯的稀土元素,我们是从 И. Н. 查欧捷尔斯基(Заозерский)教授那里取得的。

稀土元素对水耕培养条件下的豌豆发育的影响的研究是在完全营养液补充施硼的环境中进行的。試驗結果如表 25 所載。

表 25 稀土元素对豌豆發育的影响

試 驗 处 理	干茎的平均重量		鮮莢的平 均重量, 克/盆	干根的平均重量	
	克/盆	%		克/盆	%
完全营养液无硼	3.45	100.0	—	1.23	100.0
同上有硼	4.5	130.43	—	1.72	139.82
同上+稀土元素2.5毫克	9.13	264.64	27.9	2.07	168.29
同上+稀土元素5.0毫克	10.77	312.16	39.38	1.83	149.59

試驗表明了,由于在每一容量 6 升的盆鉢中施用了 2.5—5 毫克的稀土元素的硝酸盐化合物,而使豌豆的产量大为提高。

必須指出,在純粹培养基的条件下,在无硼和有硼的对照处理中,均未見有豌豆的种子出現,可是在有稀土元素的盆鉢中这时却已有种子形成了(图 5)。

这种情况表明,植物的正常发育是需要稀土元素的。在这方面作进一步的广泛的研究,极有必要。

稀土元素在动物机体的生活中的作用,目前仍旧是一个尚未完全闡明的问题。

动物机体中的稀土元素大概主要是集中在骨骼中。

鈦

鈦属于在自然界中有最广分布的化学元素之类。

土壤中就含有很多的鈦。根据 A. П. 維諾格拉多夫的資料,各种土壤中鈦的含量(%)如下:

泥炭質沼澤土	0.52	栗鈣土	0.41
灰化土	0.38	灰鈣土	0.21
灰色森林土	0.34	紅壤	0.71
黑鈣土	0.45		

土壤中的鈦是难溶态的。 它的溶解度依环境的酸度为轉移;酸度愈高,土壤溶液中含鈦愈多。



图5 硼、钼及稀土元素对水耕培养中栽培的豌豆的发育的影响 (原图)

1. 对照营养液中无硼； 2. 同，有硼； 3—4. 同，无硼，有不同剂量的钼； 5—6. 同，有硼及不同剂量的钼； 7. 与硼一起施入了稀土元素

天然水中經常含有鈦，根据 B. И. 威尔納茨基 (1954) 的資料，它的含量在千万分之几到亿万分之几之間。

植物、动物、微生物等一切有机体中均有鈦存在。在人的机体內如血液和骨骼中也发现有鈦。

通常植物体中鈦的含量約在新鮮植株重量的十万分之几到百万分之几之間。在基本营养物質之外增施少量的鈦时，作物的产量往往有显著的增加。

文献中指出，鈦在叶綠素的形成中有重要的作用(B. Л. 柯馬洛夫)。

1938 年我們曾研究过在水耕培养的条件下，不同浓度的鈦对豌豆和亚麻产量的影响。鈦是在含硼和錳的完全营养液的基础上，以 1、2.5、10 毫克三种浓度的硫酸鈦的酸性溶液的形式施入于每一容量 6 升的盆鉢中的。試驗結果如表 26。

表 26 鈦对亞麻產量的影响

試 驗 处 理	风干地上物質的平均重量		種子的平均重量	
	克/盆	%	克/盆	%
对照(完全营养液)	11.86	100.0	1.53	100.0
同上+鈦 1 毫克	13.97	117.96	1.87	122.2
同上+鈦 2.5 毫克	13.92	117.92	2.42	158.23
同上+鈦 10 毫克	16.12	135.9	3.55	232.0

从表中可以看出，施用少量的鈦，在水耕培养的条件下能显著地提高亚麻的产量。对种子产量的增加，尤其能显示其最好的作用。鈦在植物生活中显然起着重要的生理作用，在这方面有必要繼續进行研究。

有关鈦在动物机体的生活中的生物学作用的試驗資料，目前还几乎沒有。大家知道，动物体能无損害地运用提高了数量的鈦。

此外，文献中也指出，鈦在植物和动物体内所进行的氧化还原过程中起着重大的作用，但是这方面研究得还很不够。

簡 短 的 結 論

很多生理試驗都証明了，無論是大量元素（碳、氧、氢、氮、磷

等),也無論是微量元素(碘、硼、銅、錳、鋅等),同樣都是植物和動物機體所需要的。缺乏各種微量元素時生物體便不能正常地發育,以致逐漸死亡,而不足時也會蒙受特殊的病害。

碘是人和動物的正常發育所必需的元素。食物中缺碘時,新陳代謝便會遭到破壞,並且會出現名為甲狀腺腫的、某些地區所特有的地方性疾病。碘化食鹽及在食物中加入少量的碘這兩種抗甲狀腺腫的預防措施是防治甲狀腺腫的最根本的方法。因為碘是甲狀腺激素即甲狀腺素的組成成分。

植物缺硼便會逐漸死亡,而硼的不足也會罹致特殊病害。上部生長點衰亡,而且不能形成結實器官,糖用、飼用及食用甜菜會出現心腐病,結果使產量銳減,品質變劣。

硼微量元素肥料目前在農業實踐中已經被廣泛地應用。在碳酸鹽及酸性的已施石灰的土壤中和其它肥料一起施用,很有效。

銅同樣也是植物和動物的正常發育所不可缺少的元素。植物缺銅時,葉子變白,逐漸衰亡,且不形成種子。這種病害因此得名白瘟病或耕作病。此病的妥善的防治方法是在土壤中施用含銅的微量元素肥料。缺銅最顯著的是泥炭土。

銅是氧化酶、多酚氧化酶、乳糖酶等許多種酶的組成成分。

動物有機體中缺銅時常患嗜異癖症。于食料中補充少量的銅便能醫癒這種疾病。

很多試驗都証明了,鈷是動物有機體所不可缺少的元素。飼料中缺鈷時,家畜即可得惡性貧血病或消瘦病。最常患這種疾病的是牛、綿羊和山羊。于飼料中加入少量的鈷以防治消瘦病,很有效。鈷是維生素 B_{12} 的一種組成成分,維生素 B_{12} 在造血作用中起着很重要的作用,能醫好許多種貧血病。維生素 B_{12} 是一種重要的藥品。

少量的錳為所有動物機體的正常發育所必需。植物缺錳會出現淡綠色斑點,而且幾天的時間就會遍及植株全體。施入少量的錳,植株便能復原。動物有機體在缺錳時發現有骨骼形成停滯及生長減慢的現象。

錳是氧化酶的組成成分。錳能提高磷酸酶、精氨酸酶等各種酶的活性。

在基本營養物質之外補充施用少量的鉬，能顯著增加豆科及其它種作物的產量，以及提高它們對越冬時期各種不良條件的耐力。

已經確定，含鉬最多的是三葉草、苜蓿、豌豆、菜豆等豆科作物。在豆科作物的根上發育的、在大气氮素的吸收過程中起着重要作用的根瘤，含鉬特多。

鉬能積極地參與硝酸鹽的還原和蛋白質的合成。

鋅是植物和動物有機體的正常發育所必需的元素。土壤中缺鋅能引起各種植物病害，如斑點狀缺綠病、斑點病、柑橘類植物的小葉病、油桐的青銅病、果樹的簇葉病、胡桃的缺綠病、玉米的尖端變白的白芽病等等。鋅能提高植物體的耐寒力。

動物有機體中的鋅能增強與繁殖及生長有關的各種激素的作用。

在生活過程中起着重要作用的碳酸酐酶、脲酶及其它某些種酶中，均含有鋅。

稀土元素如鈾、釷、釷、鐳、釷等經常存在於土壤中以及植物和動物機體之內。這些種稀土元素也往往作為夾雜物含於磷酸肥料內，含量為 0.7—3.5%。

稀土元素在植物和動物機體的生活中的作用，目前研究得還很不夠。但是現有的試驗資料證明，在基本營養物質之外補充施用少量的稀土元素，能顯著提高產量和改進植物品質。

動物有機體中的稀土元素主要是濃集在骨骼中。對稀土元素的生理作用作進一步的研究，是有重要的意義的。

鈣多含於土壤中，不過往往是難溶態的。植物體中含有極少量的鈣。人和動物的血液和骨骼中也發現有鈣。然而鈣在生物體的生活中究竟有怎樣的的作用，則尚未得到充分的闡明。現有的文獻資料談到了鈣在生理過程中有重要的作用。

微量元素在有機體中的生物活性與在新陳代謝及調節生命過

程中起着重要作用的各种酶、某些种維生素、呼吸色素、激素之类的有机化合物，是有很密切的关系的。这些化合物又与有机体的内分泌腺系統——甲状腺、垂体、胰腺、生殖器官的各种分泌腺等紧密相关。因此，开展这方面的研究工作是极为必要的。

今后不仅对于苏联各种不同的土壤中微量元素的总的含量，而且对植物可以利用的微量元素的含量的研究以及能表征这一问题的特殊图解的編制，都应当进一步重視起来。

这类資料使我們不仅能借微量元素肥料来提高产量、改进产品质量，还能預防植物、人和动物的地方性疾病。

同时也必須扩大在生物学中尙很少研究的鋁、鎳、鉻、鋅、鉍、砷、錫、鈹、碲等許多种微量元素的作用的研究工作。

天然放射性元素与人造放射性

1896年法国学者貝克勒尔发现了放射性的现象。他对于荧光物质，也就是说，对于那些在太阳光线的作用下能开始发出每种物质所独有的、特异的光的物质，曾经从事过很长时期的研究。

貝克勒尔把用可见光照射以后的铀盐放在感光板上，结果感光板上的含有铀盐的矿石所在之处，就出现了一些黑色的印迹。有一次，天气不好，貝克勒尔不得不把自己的试验中断了几天。这期间，未曝光的铀矿石是放在暗室中的一张已变成了黑纸的感光板上的。可是，经过显影以后，感光板上原来放有含铀矿石的地方却变黑了。这一事实使他得以发现铀盐不必事先用阳光照射就能在黑暗中使感光板变黑的现象。这样就证明了，铀盐是某种能自发地射出且能使感光板变黑的不可见射线的来源。

铀的这种发射不可见射线的性能叫做放射性。而具有这种性能的化学元素叫做放射性元素。

法国学者皮埃尔·居里和他的妻子瑪丽亚·斯克洛托夫斯卡娅·居里发现了钋的放射性及两种新的、有强烈放射性的元素——釷和鐳(1898)。

和居里同时，施密特(Шмидт)也发现了釷的放射性。

英国学者卢瑟福在研究放射性的本性时发现，放射性和三种射线有关，即 α 、 β 和 γ 射线。射线的名称取自希腊文的头三个字母 α 、 β 和 γ 。这三种射线在本性上、穿透其它物质的能力上以及其它种性能上都是有区别的。

观察磁场中三种射线的偏转，说明 α 射线带阳电荷， β 射线带阴电荷，而 γ 射线没有电荷。

放射性射线能使空气及其它种气体电离，使它们成为电的导体。大家知道，空气是不导电的。延伸达数千公里借以输送电

流的裸露的并未絕緣的導線，并不能將電流通過空氣傳至地面。然而只要把放射性元素鈾、鐳、釷等一移近帶電體，空氣立刻就能導電。這是由于在放射性射線的作用下形成了陽電荷及陰電荷的空氣微粒即離子的緣故。這種現象稱為電離。在有離子存在的情況下，空氣是具有導電能力的。

α 射線是從放射性元素的原子核拋出的一束帶陽電的粒子流。¹⁾ 每一個 α 粒子都帶有等於兩個基本電荷的一個陽電荷。

個別的粒子在穿過物質時即減低速度，在途中和兩個電子合併，很快就失去了電荷，從而轉變為惰性氣體氦。

α 射線能強烈地使空氣及其它種氣體電離，單個的 α 粒子在等於 2.5—9 厘米的很短的自身的途徑上就可以在空氣中形成 20 萬個離子偶。 α 射線的穿透能力最小，用厚僅 0.1 毫米的物質層就能將 α 射線全部阻留住。

β 射線是一股電子流，或者說是帶陰電的粒子流，質量等於氫原子的 $1/1840$ 。 β 射線的速度在光速的 0.29—0.99 之間，也就是說，個別 β 粒子的速度是接近於光速的。 β 射線的致電離作用比 α 射線的弱，但是卻有較大的穿透力。

γ 射線就本性而言和 X 射線及各種普通光線相似，不同的只是波長較短。個別的 γ 粒子就是量子輻射 (квант-излучение) 或稱為光子。

γ 射線是原子核從一個電位 (электрический уровень) 轉變到另一個電位時所產生的一種電磁輻射。 γ 射線的速度等於光速，而且具有最大的穿透力； γ 射線能穿透好幾厘米厚的金屬板。

自然界中發現有三種基本母元素 (материнский элемент): 鈾

1) 一切物體都是由以各種不同的比例相化合的各種化學元素的原子組成的。各種元素的原子能形成多種多樣形式的物質，可是，原子同樣也是由更簡單的物質即電子、質子和中子組成的。電子屬於最輕的基本粒子，帶有陽電荷。質子和中子則是比較重的粒子。中子和質子的質量分別比電子的質量大 1839 和 1836 倍。質子的電荷等於一個帶陽電的基本電荷，中子則不帶電荷。原子核是由質子和中子形成的。由於作用在這些粒子之間的特殊的核力而被阻留在原子核內。較詳細的講解請參閱專門著作。

(U)、釷(Th)和錒(AcU)。这三种元素均具有天然放射性。由于原子的蜕变而形成三个新的化学元素族(請參閱附录)。蜕变后的最終的、稳定的生成物是鉛。

在进行 α 蜕变时,原子量减少4个单位,电荷减少两个单位。新原子的化学性質在进行 α 蜕变时有显著的改变。例如,原子量 $A = 210$ 、而核电荷 $Z = 84$ 的釷的原子核在进行 α 蜕变时,形成的是原子量为206.0、核电荷为82的一种新的元素,也就是說,釷是錒放射性蜕变的生成物,同时又能分离出一个氦原子,并且自身在蜕变的过程中变成了原子量为206.0的鉛。

放射过程与化学变化不同,是自发地发生的。在自然条件下,地壳、大气、水圈、植物和动物有机体中,凡是有放射性元素存在的地方,放射性过程是随处都在发生着的。

放射性射綫能引起許多种化学反应。例如,在放射性射綫的作用下,氧可以变成臭氧、黃磷可以变成赤磷。放射性射綫还能引致玻璃、瓷器、金剛石、各种珍貴宝石的顏色的变化。在气体系統內,放射性射綫能使氮和氢合成为氨,使氧和氢合成为水。

放射性射綫能分解碳酸气和水成为各組成成分,以及引起其它許多种化学反应。

除了錒、鐳、釷、錒以及它們蜕变时所形成的各种生成物以外,在自然界中还发现有具天然放射性、然而其間并无演化关系的各种元素的同位素。現今已經知道的、半衰期在十分之几秒到若干年的这样的放射性同位素有150多种,不过它們在自然界中的含量并不大。这些元素几乎全部都是以 β 蜕变或 K 电子层夺取(原子核从距离原子核最近的 K 电子层上夺取1个电子)的方式进行蜕变的。例外的只有釷采取 α 蜕变的方式。鉀和銣可以放射出 β 射綫及少量的 γ 射綫,釷則只放射 α 射綫。 β 衰变时,質量数或原子量并无改变,核电荷也只增加1个单位。

在宇宙射綫中的中子的作用下,經常由空气中的大气氮形成的原子量为14的碳(C^{14}),也具有天然放射性。銻(原子量115)、鐳(原子量176)和銻(原子量187)的放射性同位素可放出 β 射綫。

我們將把目前已知的、半衰期較长的天然放射性元素的名單援引在本書末的附錄內。

卢瑟福在 1919 年发现,天然放射性元素所放射出来的带阳电的 α 粒子对各种轻元素的作用,例如用 α 粒子影响氮, N^{14} 的原子时,后者会变成氧的同位素 O^{17} , 并且放出 1 个相当于氢原子核的质子。¹⁾

約里奧·居里夫妇完成了原子核研究事业中的次一重要步骤,他們在 1932 年发现了用 α 粒子轰击化学元素以获得人造放射性同位素的方法。

鈣、鋅、磷等的放射性同位素均已能用人工的方法得到,分别得名为放射性鈣、放射性鋅、放射性磷等等。后来在其它种核反应的作用下,例如用中子轰击时,能放出 β 及 γ 射线及阳电子的人造放射性同位素也已获得。利用这些反应,現今已經可以得到几乎全部已知化学元素的人造放射性同位素。放射性磷一般是以中子作用于硫原子的方法自硫获取的。放射性磷在放出 1 个电子时,蜕变生成硫的一种稳定的同位素。放射性磷也可用其它种方法得到。

有关人造放射性同位素的知识可参考专门书籍。

現有的試驗資料表明,由于在基本营养物质之外补施了少量的某些种人造放射性元素,发现植物能发育得更好。豆科植物根部的根瘤在这种条件下能形成得更加旺盛,而且固氮能力也有所提高。

对这些有关和平利用原子能的问题,作进一步的研究是有重大的科学和实际意义的。

測定放射性元素的幾种方法

在有关天然放射性元素在生物体生活中的作用和意义的研究中,少量放射性元素的測定是很重要的。因此我們要把几种最重

1) 在核反应中一般将指示阳电荷(位于原子核中的质子)数目的序数放在元素符号的左下方,而在右上方表示原子量的数值。

要的測定法简单地敘述一下。

現今實驗室中所实际采用的各种測定法都是根据放射性物質的致电离能力、对照相胶体的作用、以及引起发光 (люминесценция) 的能力。

前已指出,放射性射綫能使空气及其它种气体电离,因而产生带有阳电荷及阴电荷的离子。所产生的离子的数目是与輻射的強度成比例的。根据电离电流的数值,就可以計算出放射性物質的数量。

用以計算放射性物質的致电离作用的有电离室、正比計数器、盖格尔-繆列尔計数器。

晶体計数器中所利用的是晶体物質中輻射綫所产生的电离作用。

为了記錄个别致电离粒子的运动軌迹可以采用威尔逊室。

閃爍法是根据某些固体和液体物質在輻射綫的作用下的发光現象。

放射性摄影法是根据放射性射綫对照相胶体的作用。

少量的鐳、鈾、釷、釷、鈾等可以用化学法、螢光法、极譜法三种方法測定,不过其中以化学法灵敏性最差。

在放射性射綫的作用下所产生的电离电流的強度在 10^{-9} — 10^{-6}

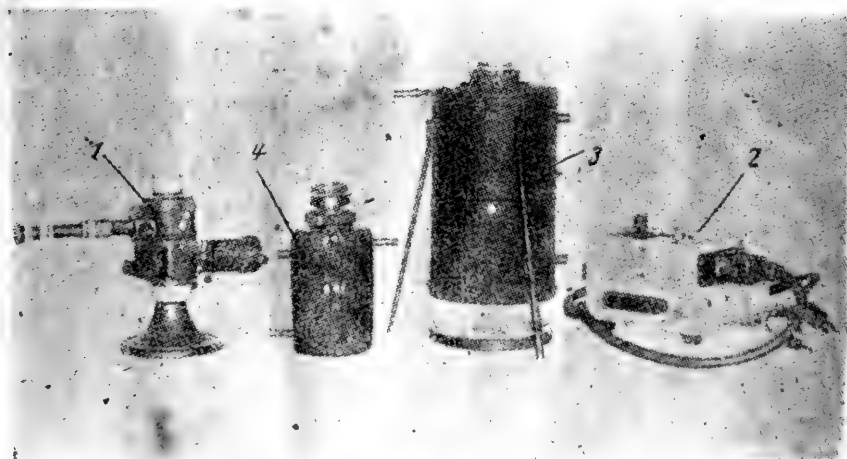


图6 供測定放射性元素的数量 CF-1M 悬綫靜电計

1. 靜电計; 2. 控制台; 3. 电离室; 4. 射气室。

安培之間。这样小的电流是不可能直接用电流計測量的，必須用間接的方法。

电离室和測量电压的裝置是用間接方法測量电离电流的儀器的必需部件。此外还有驗电器、靜电計等等。

图 6 中所看到的是由电离室及測量裝置組成的 СГ-1М 迴轉型懸綫靜电計(однонитный электрометр)的外觀。放射性射綫可使空气电离，因此在电場的作用下，阴离子趋向阳极，阳离子趋向阴极。这样，在电路中就产生了电流，这个电流可以用測量系統記錄下来。这种方法相当精确，足能測定 10^{-12} 克/克的鐳。

較詳內容請參考專門書籍。

射 气 法

射气法(эманационный метод)是測定植物、土壤及动物有机体中鐳的含量的几种应用最广的方法之一。

欲測定植物和动物有机体中的鐳及其它种天然放射性元素的数量，应选取一分重量不少于 1 公斤的平均样本，烘干以后在瓷皿中使之灰化。为了避免灰分固結，不应強烈灼烧。

把准确秤量过的灰分置入瓷皿內，并用盐酸处理。随后在沙浴上使瓷皿中的内容物蒸发至干，然后进行烘焙。将干的殘余物用盐酸处理，并在热水蒸发皿上加热及过滤。过滤最好使用有抽气裝置的布氏漏斗。在用盐酸处理时，大部分灰分都会溶解。滤紙上的殘余物应当冲洗。带有滤紙的烧杯則留待下一步操作。

欲測定土壤中的鐳，应取 10—20 克用 1 毫米孔眼的篩子过篩了的风干土壤的平均样品。为了除去其中的有机物质，需将样品仔細灼烧，和 0.1 克氯化鋇、2 倍于土壤重量的苏打及 5 倍于土壤重量的苛性碱(KOH 或 NaOH)混合，并在容量不小于 350—400 毫升的鉄坩堝中熔合。

植物灰中未溶解的殘余物也用同样方法处理。

其所以要加氯化鋇，乃是为了把土壤和植物中所含的鐳及其同位素阻留在殘余物中。加入苏打和硷則是为了在熔合时能获得

鐳及其同位素的易溶于盐酸中的碳酸盐。

将灰分的熔合物溶解于热水中,过滤,然后把滤液及溶解灰分时所得到的盐酸溶液合併在一起。土壤的熔合物冷却以后放入一只容量为 2—3 升的大烧杯中,注入热水,并且加热,一直到熔合物在水中完全散开才停止加热。当沉淀澄清以后,通过褶紋滤紙 (складчатый фильтр) 将溶液傾泻出来,殘留在烧杯上的沉淀,用沸騰的苏打溶液冲洗数次,然后将沉淀用沸騰的 10% 的苏打溶液移到滤紙上,在滤紙上再冲洗 5、6 次,直到除淨了硅酸为止。实际上滤液中是不会含有鐳及其同位素的。

洗好的沉淀,其中含有鐳及其同位素,应仔細地用热水将其移至 500 毫升的烧杯中,并使其在热盐酸(1:1)中溶解。

如果硅酸已完全除淨,那么盐酸溶液往往是完全透明的。假如在用盐酸处理熔合物的殘渣时,得到的仍是不溶的殘余物的話,那末就应重新过滤、烘焙、和苏打熔合、用热水淋溶、在盐酸中溶解,最后合併到总的盐酸溶液中。

把盐酸溶液加热至沸,并用稀释了的热硫酸使鐳及其同位素和鋇一起沉淀下来。将沉淀煮沸 30 分钟,靜置 2、3 小时以后,随即通过緻密的滤紙过滤及用水冲洗。

洗淨的鐳、鐳的同位素及鋇的硫酸盐的沉淀,可以用两种方法移入溶液中。

第一种方法是把硫酸盐溶解在 10% 的乙二胺四乙酸(этилен-диаминтетрауксусная кислота)的二鈉盐(工业上的名称是 трилон Б)中。然后仔細地轉移至扩散器(барбатер)內,将扩散器的圓筒的两端焊結,并記下射气开始积累的时间。

第二种方法是將所得沉淀轉移至和 8 倍数量的苏打熔合的溶液中,然后用水淋溶熔合物,并用 1% 苏打溶液仔細冲洗,一直到对硫酸无反应为止。

在滤紙上小心地将碳酸盐溶解在少量的(20—30 毫升)稀释了的盐酸溶液(1:3)中。溶液應該是十分透明的。混浊的溶液則必須过滤、烘干沉淀、再次和苏打熔合,然后用水淋溶、过滤,并用

1% 苏打溶液冲洗，一直到对硫酸无反应为止，将其溶解在少量的稀盐酸中并合并到最初的溶液内。

如果其中含镭及其同位素的溶液的体积过大，就要用蒸发的方法使之浓缩到 30—40 毫升。将溶液仔细地移入扩散器中，并将其圆筒的两端焊结，及记下密闭容器中射气开始积累的时间。这个过程可长达 7—30 天之久。然后用静电计测定镭的数量。

根据射气或氡——“射气法”——以测定镭的原理，在于测量由氡及其蜕变的产物所产生的电离电流在静电计上的数值，以及将这个数值同由已知含镭量的校正标本(эталон)所获得的电离电流作比较。

测量的原理是：在一定的时间内(积累的时间应准确地记录下来)在扩散器中积累的镭的射气，借气流(吹气的速度是每分钟 100—120 个气泡)之助，转送至静电计的射气室内。射气室应预先用唧筒抽出空气，到剩余压力大约为 3—15 厘米水银柱为止。向射气吹空气的时间是 10—15 分钟(直到射气室压力与大气压力相等)。在 3—3.5 小时内，每隔 10—20 分钟用 CT-1M 静电计测量一次。其所以要这样做，乃是因为在把镭的射气引入电离室以后，电离电流在 3—4 小时的时间内可以增长到某一最大数值。而在此后的一定时间以内，实际上是可以保持恒定的。电离电流的以后的变化，就可以用射气的、等于 3.8 天的半衰期来测定了。在个别测量的过程中都可能发现一般在 5—10 分度之间的、标度的一定部分的线段所通过的时间。电离电流的数值用每分钟伏特的分度来表示。

放 射 性 摄 影 法

此法在文献中名称不一，如放射性摄影法、自动放射性摄影法；在生物学实际中采用，为时并不很久，特别是用来研究少量的天然放射性元素，更比较短。

放射性摄影法的主要优点在于，它并不要求一定重量的所要分析的物质的平均样品，也不必进行粉碎和灰化，也就是说，无需

破坏有机体的全部組織。

其它种研究方法所必需的平均样品中，通常均包括本身生物学特性方面有明显差异的各个不同部分。因此，仅凭植物和动物有机体中的各种元素或某些种物质的平均含量，远不足以理解它們的具体的生理作用，以及了解它們在个别器官中的真正的含量。

放射性摄影法能显示出植物和动物有机体的个别器官和組織的极其微小的部分中的，例如莖、叶、根、花、果实等最微細的部分中的放射性物质的空間分布状况。在微量和超微量元素以及天然放射性元素的生理作用的研究中，放射性摄影法特別方便，它們在生物体中含量的极微小的数值，都是可以測量得出的。

放射性摄影法的原理系根据 α 、 β 、 γ 等放射性射綫对于感光板作用的能力。和可見光一样，这些种射綫也能把敏感的照相胶片的組成成分，即銀的氯化物和溴化物的晶体分解成为金属銀。正是这种現象提醒了貝克勒尔，使他終于发现了放射性。后来这种方法即开始广泛地应用于計算放射性射綫及宇宙射綫的研究工作中；用涂滿很厚的胶层的感光板，就可以进行人造放射性元素在生物体中的質量分布的研究，以及进行地質調查等等。

欲研究各种放射性元素在植物体中的含量、进入和分布情况，必須有正常发育的植株。

放射性元素的剂量不应过高。因为应用高剂量时，不可能精密地确定出植物的选择性，而且所获得的資料对于自然条件往往也很少有代表性。可是，如果植物体中放射性元素的含量低，它們的浓度将不会超过天然放射性时，那末，植物甚至經過长时期的曝光，也不可能在感光板上得到植株的图象。

在营养液中加入 $10^{-9}\%$ 的鐳，也就是說，在每 100 毫升或 100 克培养基中加入 10^{-9} 克的鐳，或者相等放射剂量的其它种放射性元素，以之作水耕培养和沙基培养，是可以得到良好的結果的。

預先栽培出发育良好的植株是研究工作的最重要的步驟之一。有些研究人員认为放射性摄影法对生物学來說只不过是一种物理化学方法，这是不正确的。对生物学來說，它首先是一种生物

学方法。只有在发育正常而且良好的植物体中，放射性摄影法才可能正确地反映出进行着的生理过程。因此，进行这方面的研究工作，一定要取用发育良好、根系旺盛的植株。

至于所栽培的植物究竟应取用哪一个生长阶段的，这个问题要由试验目的来决定。欲获得植物体的优良的放射性照片，就应当用适当的方法进行准备。叶、茎、花、根等植物个别器官，还在新鲜状态时就要仔细地镇压在坚硬平坦的表面上，在两张滤纸之间、在不很大的压力之下进行干燥，这样一直达到与空气湿度相等的程度。

把风干的植株置入温度80—90°的定温箱内4—5个小时。进行这一步手续主要是为了除去对照相胶片的显影能力有影响的挥发性有机物质。

将已风干的植株置于弱红光下的X光胶片之上，使紧密接触，然后把X光胶片放在暗匣内，使普通光完全不可能射到上面，这样停留一定的时间。作研究用时最好采用苏联生产的“双X”牌(XX)胶片。

自植物体中所含的放射性元素放射出来的放射性射线，能以它们在各个器官中的不同的浓度而相应地使感光板感光。放射性射线深入到照相胶片的感光层时就会形成隐蔽的图象。在显影过程中，有隐象的晶体还原成金属银，由于银的颗粒而形成象。同时还能发现一定的从属关系。放射性元素照射得越强烈，变黑的程度也越厉害。应用于此种目的的溶液，称为显影剂。

用以获取植物个别器官的清晰的图象所需要的时间叫做曝光。

已显影的胶片仍然不能见光。为了除去残留在胶片上的氯化银或溴化银的晶体，使其对光不再敏感，胶片还需用特种溶液——定影剂——作补充处理。这个过程，叫做定影。

定影过程完毕以后，把胶片放在水中冲洗，直到完全除净所有盐类为止，然后凉干。

曝光后的显影、定影、冲洗及干燥，是一个底片加工过程，适当地处理过的照相胶片或感光板叫做底片。

处理X光胶片用下列成分配制的显影剂,能产生良好的结果:

米吐尔	3.4 克
对苯二酚	8.9 克
无水亚硫酸钠	60 克
结晶亚硫酸钠	120 克
无水苏打	40 克
结晶苏打(可用碳酸钾代替)	110 克
溴化钾	4 克
蒸馏水	1 升

无蒸馏水时可使用经过煮沸而已冷却到室温的普通水。

制备显影剂时必须先将亚硫酸钠溶解,然后才逐步加入其它组成成分。因为米吐尔不溶于亚硫酸盐的浓溶液,所以应单独在水中溶解,并且为了避免迅速氧化起见,应加入少量的亚硫酸钠的稀溶液。在其它组成部分溶解以后加入溴化钾。苏打或碳酸钾则是在所有盐类预先和完全溶解以后才加进去。新制备的显影剂不宜使用,最好是在进行研究工作的前一天配制。

显影的时间和温度有很大关系。在 $18-19^{\circ}$ 的温度下,胶片的显影加工 8 分钟可以完成。温度在 20° 以上时,显影时间可缩短到 5—6 分钟。

1 升显影溶液可处理 30×40 厘米大小的胶片 8—10 张,或 24×30 厘米大小的胶片 15—20 张。用过的显影剂即行失效,不能再用。

欲配制定影剂,可把 250 克次亚硫酸盐溶解在 1 升水中。酸性的定影液效果较好。要制备这种溶液可以在上述数量的次亚硫酸盐之外,添加 55 克亚硫酸钠,溶解以后再加 3.5 立方厘米比重 1.84 的硫酸。溶液的体积可达 1 升。胶片定影的时间不得少于 15 分钟。在把胶片放入定影液之前,要用水冲洗几次,否则定影液很快就会失效。陈旧的显影剂和定影剂均不宜使用。

在底片上显影时,通常能得到植株的全部图象,并且植物体中那些含放射性元素较多的器官,在感光板上会产生较暗的图象。而在印象纸上得到的则是相反的象,就是说,较为清晰光亮的地方才是放射性元素含量较高的所在。放射性元素含量少的植物器

官,或者是在相片上完全沒有图象,或者是图象不很清楚。

曝光的时间,几天到几个月不等。植物体中含鐳或等放射量的其它种放射性元素少于 $10^{-10}\%$, 以及靠天然放射性元素以获取放射性照片时,便不得不进行长时期的曝光。

应用加强的致螢光遮光板时,曝光时间可以减少到 $1/2$ 和 $1/3$ 。不过,在这种情况下,底片上植物个别器官的图象的清晰度会显著降低,特别是放射性元素含量高的部位,更是这样。这种现象在放射性照片(图 7)上可以明显地看到。

图象的精确性和这种方法的灵敏性,一方面有賴于植物体中放射性元素的含量,另一方面也要看 X 光胶片的敏感性以及植物体个别部分与照相胶片是否接触得很紧密,这点对于在放射性元素的限定区域是否能得到为数最多的细节是很重要的。

在将放射性物质引入有机体内以后、或借天然放射性以获取动物机体个别器官或組織的放射性照片时,最初应进行这些器官的固定。福尔馬林是一种良好的固定剂。用福尔馬林处理以后即可制作薄度均匀的切片,并把它們放进純酒精內。随即将切片放在玻璃板上小心地鎮压,并加少許压力使之干燥到风干的程度。为了除去組織中的福尔馬林殘余、酒精以及揮发性的有机物质,需要把切片放在温度 $80-90^{\circ}$ 的定温箱內进行 10—12 小时的干燥。然后将切片放在紅光下的 X 光胶片上,經受一定时间的曝光。随后即进行显影、定影、冲洗及干燥等加工处理工作,和制取植物放射性照片的手續一样。

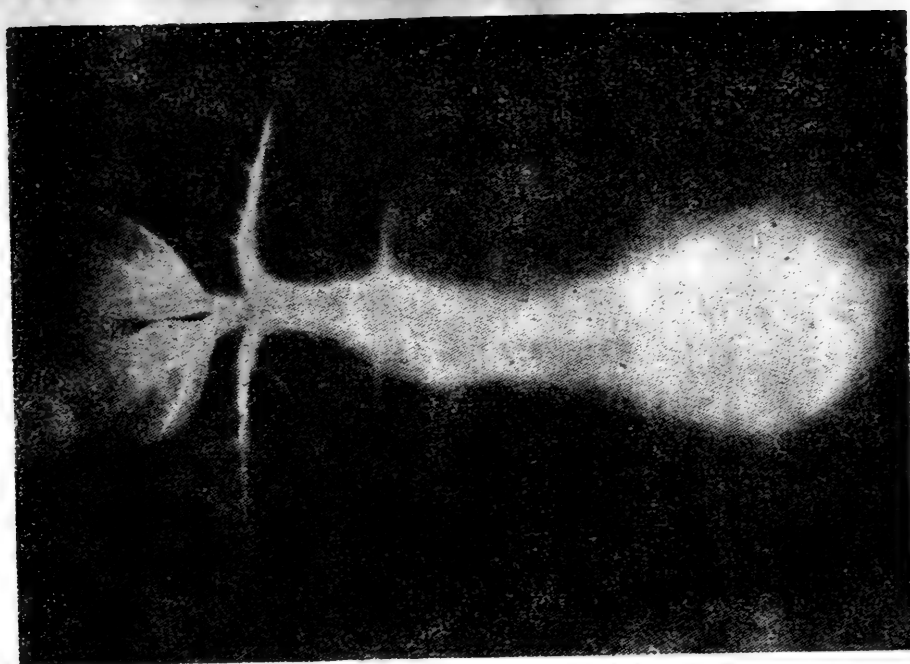
自底片洗印时最好使用 7 号特制对比相紙 (Контрастная фото-бумага № 7)。

測定放射性元素的方法假定可以分为絕對的和相对的两类。那些能够得出数值的,例如可以測定鐳及其各种同位素以及其它种放射性元素的射气法,均可归入絕對測定法之列。不过,所有絕對測定法都太复杂而且麻煩。只是在需要精确知道放射性元素的絕對数量时,才好应用这种方法。

相对測定法往往不能保証精确的数值,然而却是比較容易做



图7 莖節的輻射所得到的繡球的放身性照片(原图)
左: 未使用加强遮光板
右: 使用了加强遮光板, 曝光时间相同



到的，而且可以得出动物有机体个别器官和組織中的放射性元素的含量和分布情况的良好相对鑑定。

放射性摄影法就可以归入这一类。这种方法虽然不能得出精确的数值，然而却能得出各种放射性元素在植物和动物有机体的个别器官和組織中的含量及分布状况的确切的鑑定。

要想对放射性照片做数量上的估計，可以应用通过光度测定来确定底片变黑程度的方法。光电測光計、显微照象机、放射性探测仪等都是用于此种目的的最便利的仪器。

将底片上个别部分的变黑程度与校正标本的变黑程度相比较，就能求得植物体各个器官的极微小部分中所含任何种放射性元素的数量。

校正标本最好和植株一起在同一照相胶片或感光板上曝光。欲制备校正标本，可取一定大小的滤紙，在含量精确的鐳或鈾盐溶液中浸湿。滤紙干后即可用作校正标本。有許多种制备方法，这是其中最简单的一种。

对放射性照片作数量上的估計时，必須考虑到所研究的对象的厚度、輻射的数量和质量、对象的生理特性及其組織的特性、校正标本的放射面的性質、以及对照相胶片的显影能力有影响的一些因素。

應該注意到，在不得不借天然放射性以获取放射性照片而进行长期曝光的情况下，所有用植物制造的如木料、紙张、以及用玻璃、各种金属如鋁、鋅、銅等制造的物件，于黑暗中在感光板上都是可以清晰地被拍摄下来的。

放射性摄影法給植物体中各种营养元素的进入和分布的規律性的研究开辟了新的远景，这些規律性是現代任何一种最精密的化学、物理学和生物学方法都不可能发现的。在与大量及微量营养元素在植物各个最微小的器官和組織中的进入及分布有关的許多最繁复的生物学問題以及其它問題的研究中，应用放射性摄影法都很成功。

粒子計數器

应用最广的、用来测量放射性射线的仪器是盖格尔-繆列尔计数器，这种计数器甚至对单个的致电离粒子都是很灵敏的。盖格尔-繆列尔计数器依所测量的射线的性质的不同，而有各种不同的结构。

放射性射线计数器的主要部分是在其間能产生电位差的两个电极。現今最常使用的计数器，都是以一个圓的金属筒管的外壳作为阴极(图8)。沿管軸方向在絕緣衬垫上有一条拉紧的金属絲，这条金属絲就作为阳极。金属絲銲接在管筒內。计数器的内部或充滿單純的氖、氬、氦等气体，或充滿这些种气体与例如酒精等有机物质的蒸气的混合物。计数器內的压力在 30—50 毫米水銀柱之間(有时也高些)，依计数器的用途及所充填的气体的种类为轉移。计数器工作的原理是，在高电压下仪器中的两个电极之間，即使只产生了 1 个电子，也会在充滿了气体的计数器中发展成为放电現象。放电在进入灯 (входная лампа) 的控制网上造成电流脉冲 (импульс тока)。电流脉冲可以用特殊的装置放大以及记录下来。这种仪器可以計算单个的核粒子，因此得名计数器。

放射性射线在通过计数器的气体空間时，由于电离的关系而在自己的途徑上产生一定数量的阳离子和阴电子对。它們的总电荷将超过计数器中一种标记的离子的总电荷。在一些特殊的装置中在一定的条件下，这些电流脉冲会被放大并且可以借助于自动记录器的測量系統记录下来。在一些專門的教科书中对此有較詳的叙述。

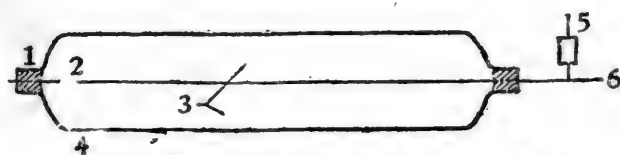


图8 盖格尔-繆列尔圆柱形计数器略图

1. 金属圆柱状筒管的外部——阴极 2. 金属絲——阳极 3. 充滿各种气体的圆柱内部 4. 絕緣衬垫 5—6. 高电压和計算裝置的连接处

应用于此种目的的、流行最广的有 Б 型装置(图9)、Б-2 型輻射計(图 10)、放射量探測仪等。

Б 型装置和 Б-2 型輻射計是利用气体計数器和带有电机脉冲計数器的計算仪器并根据 β 及 γ 射綫来測量放射性的。

欲測量軟的 β 射綫，也就是能量小因而在物質中容易被吸收的那种射綫时，可应用所謂底窗計数器 (торцовый счетчик)，这种計数器是一个垂直裝置的圓柱体，沿圓柱体的軸有一条拉紧的金属絲。圓柱体的基部有一个云母制的小窗口、欲測的标本放在窗口下面。

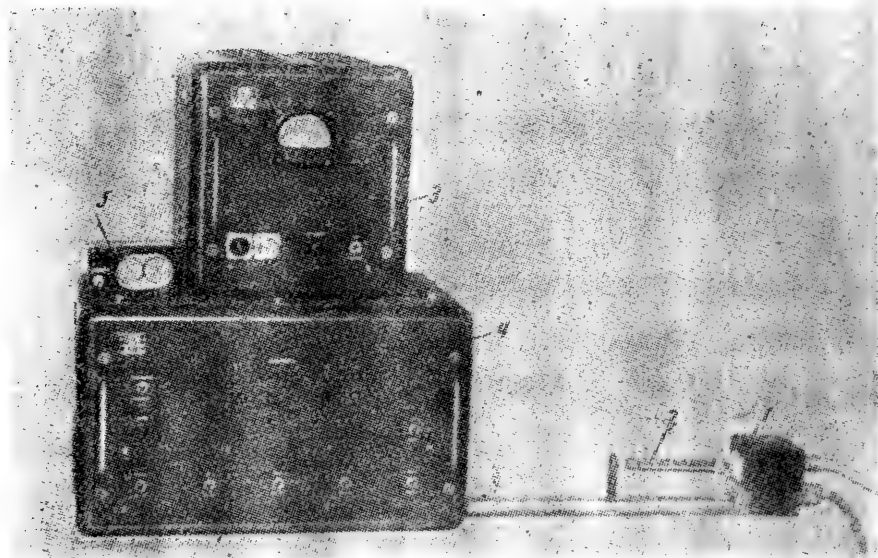


图9 Б 型計算装置的外观

1. БГС 型引入部分 2. 气体計数器 3. 高压整流器 4. ПС-64 定标器 5. 电机計数器

有几种专门測量 α 輻射的 α 粒子計数器。

但是，尽管計数器有很高的灵敏度，却不是随时都可以用来測量那些經常存在于土壤、植物和动物有机体之內的极少量的天然放射性元素的。这是因为利用計数器所可能計算的只是經常存在于周围环境中的放射性元素和宇宙射綫这几种輻射的作用下产生的，超过計数器天然环境的那么多数量的放射性元素。

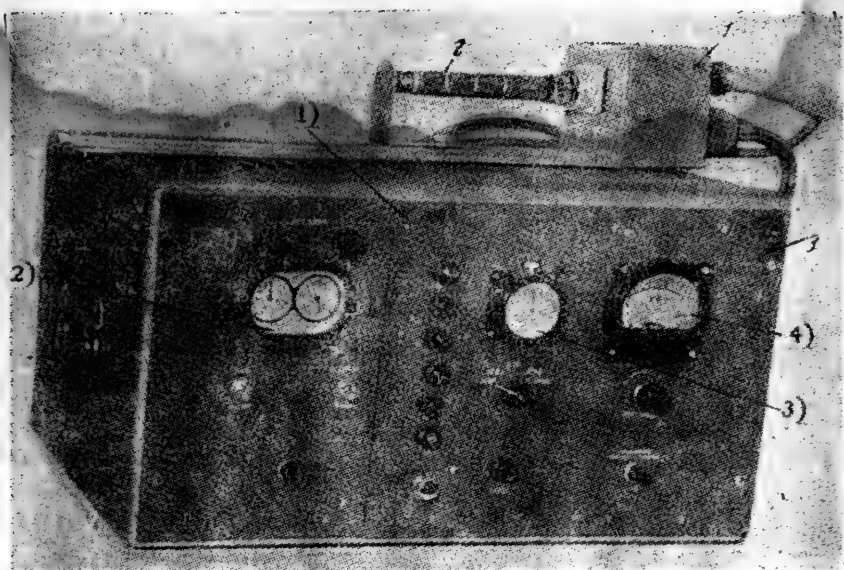


图 10 B-2 型辐射计的外观

1. BFC-2 型引入部分 2. 气体计数器 3. BCII 型部分, 包括: 1) 计算装置
2) 电机脉冲计数器 3) 秒表 4) 高压整流器

示踪原子法

有机体中所发生的极微妙的生理过程是非常复杂的, 要了解这些过程, 就必须有最现代化的科学研究方法。怎样才能知道营养物质在有机体中的进入和分布速度、蛋白质及其它种有机化合物的更新速度、有机体在不同器官和组织中积累个别营养元素的选择能力呢?

在人造放射性发现以前, 这是很难做到的, 因为, 把已施入的元素从有机体本来含有的元素中分离开来是不可能的。人造放射性的发现, 使我们可以得到放射性同位素形式的几乎全部已知的化学元素¹⁾。放射性同位素与普通非放射性(稳定性)同位素的区别, 只是它们的原子在无休止地蜕变着, 因而放出辐射形式的放射性性能, 主要是 β 和 γ 射线, 以及阳电子(带阳电荷的电子)。

放射性射线是使我们能在任何地点、任何器官和任何时间将所要研究的元素很容易地发现和区分开来的一些原子的记号。为此目的而应用盖格尔-缪列尔计数器和放射性摄影法是最方便的。

1) 原子量不同的同一种化学元素的原子叫做同位素。

示踪原子法也叫放射性指示剂法，是根据放射性同位素和稳定性同位素的統一性状即与非放射性同位素在所有化学和生物学反应中的性状的同一性而建立起来的。

利用这种方法进行研究工作时，是把放射性同位素通过根或叶施入于植物体内，而在动物有机体则是和食物混合或采取注射的方法施入。这样，根据辐射的强度就可以很容易地探究出放射性同位素的性状。在积累有较多放射性同位素的器官和組織中，它的辐射强度也就会高些。

示踪原子法的优点还在于应用这种方法可以研究活組織及活器官中的复杂的生物学过程。

示踪原子法对新陈代谢、各种元素在植物和动物有机体的各个器官和組織中的进入、轉移和分布的速度、施肥的时期和方法等问题的研究，都有很大的助益。

但是在使用放射性同位素时必须顧及到实际应用这种方法时在很大程度上成效攸关的这些放射性同位素的特性。

在所有生物学研究中都必需使用寿命长的放射性同位素，因为，用寿命短的同位素作試驗时，由于时间的限制，工作起来是很困难的。

次一重要条件是統計所研究的粒子的类型和能量。在研究工作中使用能放射具有高能量的 β 粒子的同位素是最适当的。这样的同位素很容易測定，而且很少发生被仪器器壁吸收及在所研究的切片中自行吸收的現象。

但是，此种或彼种同位素的选择，常常是要由試驗的条件来决定的。例如，有必要研究鈉在有机体内的进入和分布，那么就可以使用半衰期等于 14.8 小时的那种鈉的放射性同位素，也就是短寿命的同位素。

在这种情况下必须特別注意进行試驗的方法、計算所要研究的物質的放射性的速度和精确性、等等。

天然放射性元素鐳、鈾和釷都属于长寿命的元素，例如，原子量为 238 的鈾的半衰期大約为 45 亿年，鐳的半衰期为 1590 年，釷

是 $1.389 \cdot 10^{10}$ 年。

大多数人造放射性同位素均为短寿命周期 (表 27)。

表 27 生物学研究中最常利用的几种人造放射性同位素

元素名称	符 号	半 衰 期	元素名称	符 号	半 衰 期
氢	$^1\text{H}^3$	12.46年	铁	$^{56}\text{Fe}^{59}$	45.5天
碳	$^{12}\text{C}^{14}$	6000年	钴	$^{57}\text{Co}^{60}$	5.3年
钠	$^{23}\text{Na}^{24}$	15.1小时	铜	$^{63}\text{Cu}^{64}$	12.88小时
磷	$^{31}\text{P}^{32}$	14.3天	锌	$^{65}\text{Zn}^{65}$	250天
硫	$^{32}\text{S}^{35}$	87.1天	砷	$^{75}\text{As}^{76}$	26.8 小时
钾	$^{39}\text{K}^{42}$	12.44小时	溴	$^{80}\text{Br}^{82}$	36 小时
钙	$^{40}\text{Ca}^{45}$	152天	碘	$^{127}\text{I}^{131}$	8天

我們曾用示踪原子法以及更进一步地应用放射性摄影法研究过采取注射的方法通过根施入到砧木和接穗的組織中的鐳及放射性磷的进入和分布状况。試驗証明了鐳和放射性磷都能在嫁接的植物体内自由地从砧木向接穗或从接穗向砧木轉移, 按它們的生物学上的性質分布在各器官之內 (图 11)。

在图 11 的放射性照片上可以清晰地看到, 在把番茄嫁接到茄子上的情况下, 在嫁接部位及稍高处, 番茄的組織中所含的磷就比植株上部所含的磷少, 在放射性照片上, 植株上部就比較明亮。

为了弄清給植株作根外追肥的可能性, 我們进行过下列試驗: 1953 年 7 月 26 日我們把每毫升 0.5 微居里¹⁾浓度的放射性磷溶液細心地施給了发育最良好的番茄、蘿卜、胡蘿卜、黃瓜及其它田間作物的側叶的表面。8 月12日收割了所試驗的植株。同一天就用放射性摄影法研究了放射性磷在所試植株的个别器官和組織中的进入和分布状况。

在图 12 的放射性照片上可以清楚地看到, 通过小洋蘿卜植株边缘上的两片最发育的叶子施入的放射性磷, 能向植株所有其它

1) 居里(Cu)是每秒鐘发生 $3.7 \cdot 10^{10}$ 次核蜕变的任何一种放射性同位素的数量单位。細分之, 有: 毫居里(mCu—— 10^{-3} 居里)、微居里(μCu —— 10^{-6} 居里)、毫微居里(m μCu —— 10^{-9} 居里)。

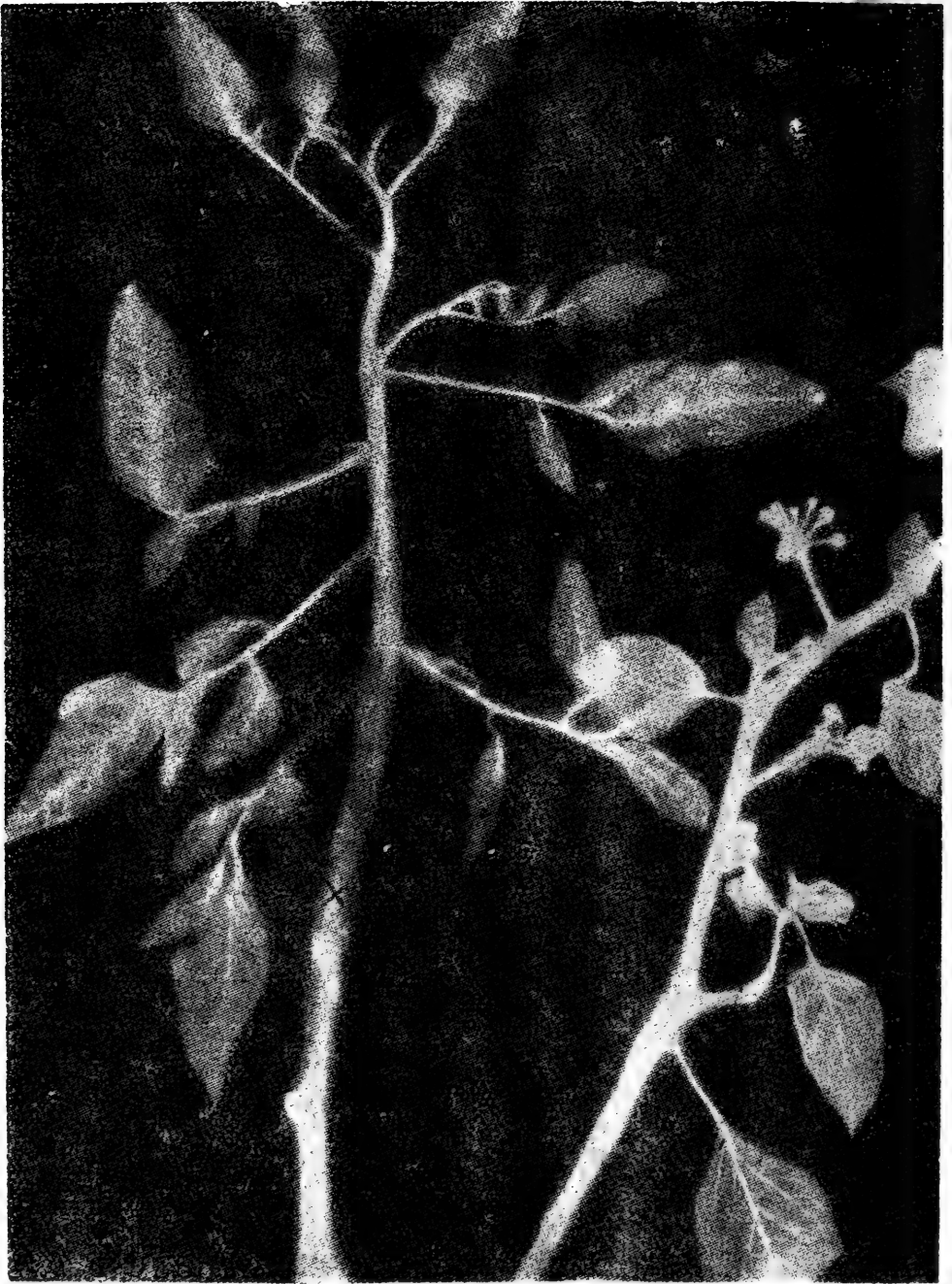


图11 靠放射性磷的 β 辐射所得到的、嫁接到茄子上的“米卡多”品种番茄的放射性照片(原图) 嫁接处是用[×]标记的;左方是茄子的侧枝,番茄即嫁接其上

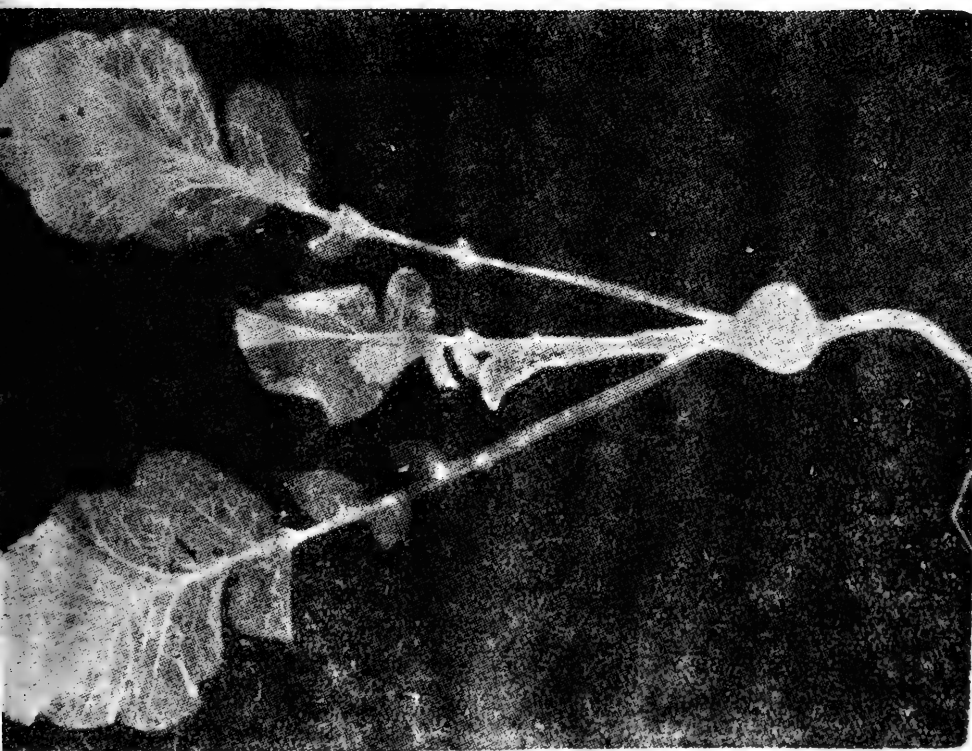


图 12 靠放射性磷的 β 辐射所得到的西洋萝卜的放射性照片(原图) 通过边缘的两片叶子施入的磷,可以自由地从叶片向根及其它器官转移

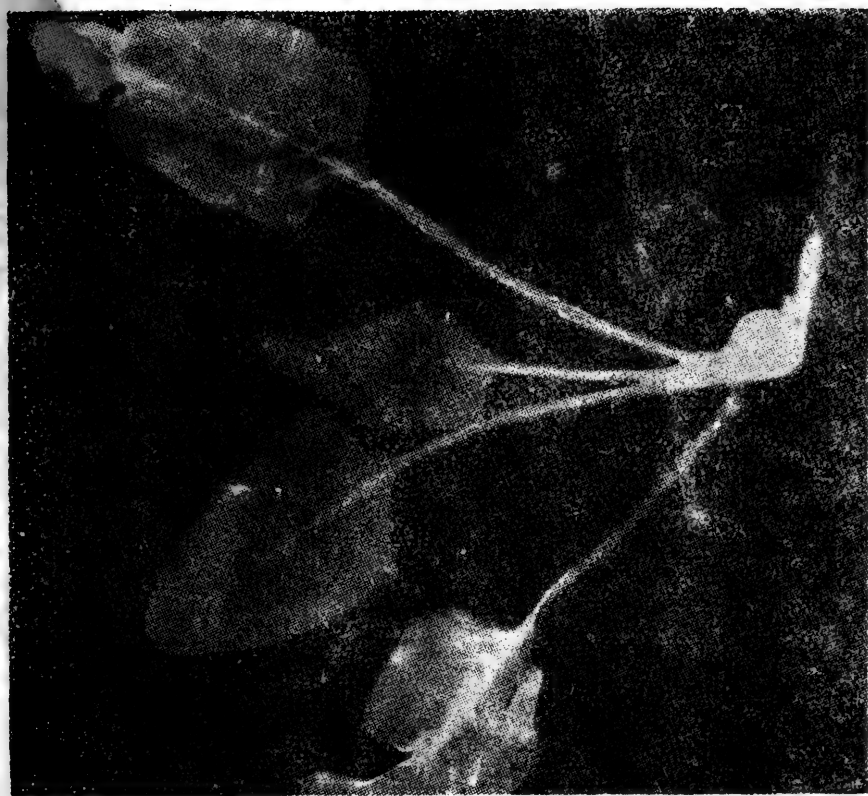


图 13 靠通过叶片施入的放射性磷的 β 辐射而得到的食用甜菜的放射性照片(原图)

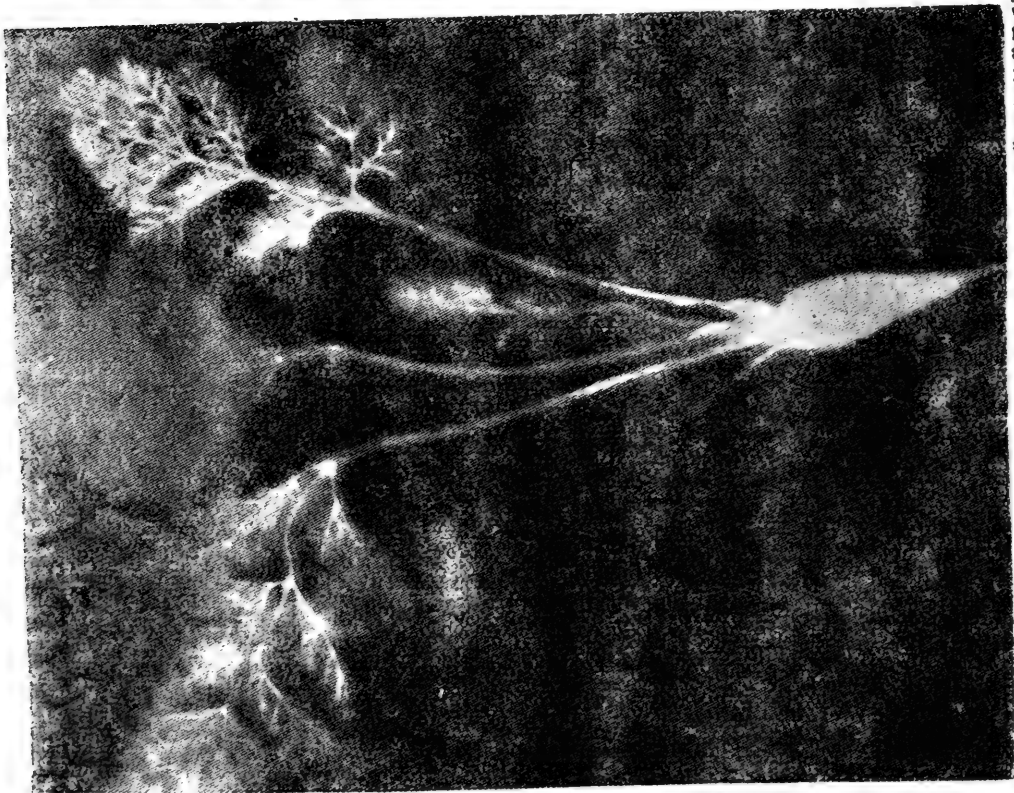


图 14 靠通过叶片施入的放射性磷的 β 辐射而得到的“南斯特”品种胡萝卜的放射性照片(原图)



图 15 靠放射性磷的 β 辐射而得到的番茄的放射性照片(原图)
通过叶片施入的磷能自由地向果实中转移

器官按它們生物学上的特性自由地轉移。

照片上个別器官的不同的象表明,其中含有不等数量的磷,例如,小洋蘿卜中的放射性磷大多集中在根部及位于中央的、发育旺盛的新生叶片上。在放射性照片上,植株的这些部分都比較明亮。这一事实并不是偶然的,用其它种植物所作的試驗,例如用“波尔多”品种食用甜菜(放射性照片,图 13)和用“南斯特”品种胡蘿卜(放射性照片,图14)所作的試驗,也都証实了这种現象。

我們在用番茄和花卉植物——紫菀——所作的試驗中,曾研究放射性磷在通过叶片施入时在果实和花中的分布情形。

在图 15 的放射性照片上(“比宗”品种番茄)可以明显地看出,放射性磷能自由地从叶片进入到莖和果实中去,不过大部分都集中在果实內。在紫菀則多半浓集在花中(图 16)。

根据这些試驗可以作出如下結論:

植物具有不仅能用根系而且也能通过叶片吸收营养物质的能力。

通过叶片所吸收的营养物质能按其生物学上的特性在植株的个别器官中自由地分布。

可見,通过叶片給植物作根外追肥是一种很有前途的方法,在农业实践中合理地应用这种方法可能是很有益的。然而通过叶片給植物作根外追肥却不可完全代替了于土壤中施肥这一主要的方法。

在生物学的研究工作中应用示踪原子法,应避免施用由于本身的高放射性而使正常的生命活动遭到破坏的剂量,也就是說应避免施用会給植物体带来危害的那样高的剂量。

用作为示踪原子的人造放射性元素的剂量,按本身重量來說,一般是很小的。例如,就放射性而言,等于 1 克鐳即 1 居里的放射性磷的剂量总计只有 $3.4 \cdot 10^{-6}$ 克,或者說只有百万分之几克。

剂量很高的普通的稳定性同位素磷,植物和动物都能忍受而不会受到伤害,例如动物骨骼中含磷就有 1% 之多。可是,假使我們于营养液或食物中施用同样剂量的放射性磷时,那么受試的植

株或动物无疑会因过高放射性而死亡。

在研究工作中,放射性磷 P^{32} 往往只应用上述剂量的千分之一或百万分之一,即相当于 1 毫居里或 1 微居里。为了避免有害作用起见,采用更低的剂量,100 克重的被试物质只用几十分之一或几百分之一微居里,是更为适当一些的。在试验时必须注意放射性测量仪器的精确性、利用放射性摄影法时感光胶体的敏感性等等。



图 16 靠放射性磷的 β 辐射所取得的紫菀的放射性照片(原图)
通过叶片施入的磷能自由地向花中转移

鉀 的 放 射 性

在探討有关天然放射性元素在有机体的生活中的作用和意义

这一問題时,必須首先談一談鉀的放射性的作用。

鉀的化合物——碳酸鉀等——从远古时代起,人們就已經知道了。捷威(Деві)在1807年提取出来了游离态的鉀。

鉀的放射性是100年以后(1907年)由堪別尔(Кембель)和武德(Вуд)发现的。在这个时期以前,沒有人曾經推想过鉀还会具有放射性。由于鉀原子的放射性蜕变而放射出 β 射线(电子)及少量的 γ 射线。在蜕变时,它的原子量并无改变,核电荷也只增加1个单位,也就是說,鉀蜕变以后的产物将是原子量为40、核电荷为20的鈣的一种同位素 $_{20}\text{Ca}^{40}$ 。而鉀原子的另一部分則攫取1个电子到核內,变成原子量为40的惰性气体氩。

自然界中的鉀是由 K^{39} 、 K^{40} 、 K^{41} 三种同位素的混合物組成的。但是具有放射性的則只有原子量为40的这—种同位素。

在百分比中,原子量为39的鉀的最輕的同位素大約占93.38%、原子量为40的放射性同位素总計有0.012%,而原子量为41的最重的同位素則占6.61%。

鉀和鈾、鐳相似,能使感光板感光。1克鉀1秒鐘的輻射強度总計約有28.3个 β 粒子和3.6个 γ 粒子。因而鉀属于弱放射性元素之類。

之所以說鉀只有弱放射性是因为,甚至于在含量很高时(例如糖用甜菜的灰分中就含有50%的氧化鉀)对植物体也沒有有害的作用。

在土壤中、植物和动物有机体中,都含有很多的鉀:土壤中約有2.5%、植物有机体中有0.5—2.2%。例如,在小麦的籽粒中含有1.61%的氧化鉀(K_2O),豌豆的种子中有1.41%,而在馬鈴薯中則有2.28%。

鉀是动物和植物的生长和发育必不可少的元素之一。沒有鉀,植物和动物有机体便不可能生活。鉀在醣类代謝和蛋白質代謝中起着重大的作用,能影响植物体中碳水化合物的总的增加,且能改变各类碳水化合物之間的比例。豆科植物富于蛋白質的种子所含的鉀比禾本科植物的籽粒所含的鉀多。鉀还积极地参与各种

含氮化合物的合成。新生的、生命活动力强的植物组织含钾特别多。在较老的组织中含钾很少，因为钾往往自较老的组织向新生的组织转移。

如果从营养混合液中除去了钾，植株的生长就会停止，而且必将死亡。严重缺钾时在叶片上会出现褐斑，这是缺钾的特殊标志。

研究结果表明，植物体中所有的钾都是离子状态的，不必灰化，只用水作简单的浸泡就能很容易地把钾从干植物体中提取出来。在植物体中没有发现过钾的有机络合物，因此不好理解钾在植物生活中的生理作用（如果抛开它的放射性不论，只估计它的作用的话）。

动物机体中有活跃的生理功能的器官，例如肝、脾等，含钾特别丰富。在这些器官内，钾主要是存在于组织中，可是钠则多半包含在组织液、淋巴液、血液等之内。

有关钾的放射性的生理作用问题，目前还没有很好地进行过研究。

荷兰生理学家茨瓦阿尔杰梅克尔（Zwaardemaker 1918, 1920）曾从事于放射性钾的生理作用的研究。他抱着这样的目的对青蛙的离体的心脏进行过一些专门的试验。在这些试验中，在一定的时间内通过离体的心脏渗进无钾的林格尔营养溶液（питательный раствор Рингера）时，心脏的有节奏的收缩就停止了。然而茨瓦阿尔杰梅克尔却用等放射量的任何一种放射性元素代替所缺乏的钾而完全成功地恢复了心脏的跳动。心脏跳动的恢复持续了很长的时间。

根据该作者的资料，如果放射性元素不是随溶液施入。而是把装有放射性物质的胶囊放在距心脏 0.25—2 厘米距离处使之发生作用时，这项试验就会进行得特别顺利。

他根据自己的试验得出了一项结论，认为钾的放射性有重要的生理作用。

在其他作者的试验研究中，茨瓦阿尔杰梅克尔的试验结果未能获得广泛地确证，不过直到现在却也未被推翻。

A. П. 維諾格拉多夫(1956)用霉菌(*Aspergillus niger*)的4昼夜的培养基进行过直接的試驗,研究了鉀的放射性同位素 K^{40} 对于菌絲体的重量即这种有机体的生物質量(биомасса)的积累的影响。試驗所应用的是同位素成分含量不同的鉀。

A. П. 維諾格拉多夫根据所获得的資料作出了結論,認為鉀(K^{40})的放射性在霉菌(*Aspergillus niger*)的生长和发育中不起任何作用,有意义的只是鉀的化学性質及其浓度。并且他把這項結論推广到其它有机体,特别是所有高等和低等植物,認為植物在种系发生过程中并不利用鉀及其它种元素的天然放射性。有关鉀(K^{40})的放射性在高等植物和动物有机体生活中的作用及其对生物化学过程的影响的試驗資料,目前还没有。A. П. 維諾格拉多夫的此項結論只是根据上述一个試驗作出的。

在以砂基培养的盆栽試驗中,設若施鈉以代替鉀,并填加各种放射性元素——和鉀一样也能产生 β 輻射的鈾 X_1 、能同时放出 α 、 β 和 γ 三种射綫的鈾、和鉀一样能放射 β 和 γ 射綫的銣——那么,鈉对于糖用甜菜、番茄、橡胶草及其它种作物的生长和发育究竟会有怎样的影响,我們对于这个问题曾經进行过好几年的研究。这些放射性元素的施用量为鉀的等放射剂量的3倍,而鈉則是鉀的等分子的数量。

盆栽試驗是用洗淨的石英砂及提純的化学藥品在玻璃容器中进行的。

放射性元素的作用是在普梁尼什尼柯夫完全营养液的环境中进行研究的,其中鉀的部分以鈉来代替。含有各种微量元素的完全营养液作为試驗对照。試驗重复了4次。植株是用蒸餾水灌溉的,并且都培育到完全成熟。

这里我們要敘述一下我們在1944年用糖用甜菜所作的試驗中所获得的最有代表性的試驗結果。糖用甜菜的种子是在1944年6月24日播种在盆鉢中的,第4天长出了幼芽。給植株作第一次間苗以后,在8月10日以前,每盆都长出了3棵同样的植株。在8月10日,从每一盆鉢中各收获了2棵植株,經過称量以后,对

于甜菜的叶片和直根中各种形式的碳水化合物的含量作了化学分析(表28)。

表28 鈾 X₁ 和鈉对糖用甜菜的產量及各种类型
碳水化合物的含量的影响

試驗处理	收获物的平均 重 克/盆		根部的平均 含糖量	叶中碳水化合物的含量 %		
	叶	根		单 醣	蔗 糖	碳水化合物 总含量
完全营养液(对照)	12.6	1.18	5.1	0.56	0.37	0.93
完全营养液无鉀+鈉	5.4	0.40	2.5	极微少	极微少	极微少
同上+鈾 X ₁	6.15	0.39	2.04	极微少	极微少	极微少
完全营养液+鈾 X ₁	21.2	2.86	7.37	0.75	0.51	2.26

試驗結果表明了,放射性元素只在被施用于有正常剂量的鉀的完全营养液环境的盆鉢中时才有良好的作用;与对照盆鉢中的植株相比較,在这种情况下培育的植株,叶和根均有显著的增加。

放射性元素的良好作用也表現在糖用甜菜的叶子和根中的碳水化合物含量上。无鉀的盆鉢中的植株生长迟緩,而且所含各种碳水化合物也相当少。

在 8 月20日以前,无鉀而有鈉的盆鉢中的植株即已停止生长,下部的叶子开始变黃和衰亡,而到 9 月 20 日,这些植株已全部死亡。有鈾及其它种放射性元素的、試驗处理类似的植株也均已死亡,不过比前者迟 10 天。

在含鉀的完全营养液的基础上补充施用放射性元素,無論是对根的产量以及其中的含糖量的增加,均产生了良好的作用,而且一直保持到植物生长期末。

在砂基培养条件下的盆栽試驗中我們也曾研究过,部分及全部用鈉代替鉀、不施鈾及施用不同数量的鈾的可能性。結果发现,只有 50% 的鉀能用鈉及同时施入的鈾来代替。在完全除去了鉀时,植株便会死亡,尽管在营养液中有施入的与鉀等价和等放射量的鈉和鈾。

下面在表 29 中我們援引了用糖用甜菜所作的生理試驗結果(砂基培养),一部分鉀是用鈉代替的,有同时施鈾及未施鈾的两

种。試驗所采用的是純化了的試劑。

表 29 鈾对糖用甜菜的產量及其含糖量的影响
(1945 年所作盆栽試驗結果)

試 驗 处 理	植株活重克/盆		糖 的 含 量 %	
	叶	根	叶	根
有微量元素的完全营养液(对照)	42.55	19.8	2.2	10.8
同上+鈾 $10^{-4}\%$	61.15	37.7	1.4	14.3
含 $1/2$ 鉀剂量的完全营养液	25.6	10.65	1.1	7.6
同上+鈾 $10^{-4}\%$	32.7	8.6	2.3	9.7
含 $1/2$ 鉀 + $1/2$ 鈉的完全营养液	52.08	12.25	2.2	8.8
同上+鈾 $10^{-4}\%$	48.6	19.0	2.7	12.7

从表中可以看出,在完全营养液的基础上施入的鈾,不論是对糖用甜菜的产量,也不論是对其根部的含糖量,均有极好的影响。鉀降低到标准量的一半时,植株的生长有显著的恶化,对叶和根中的碳水化合物含量也有不良影响。

在只有一半剂量的鉀的基础上施鈾,与前一試驗处理相比較,只有助于叶及根中糖的含量的提高,不过这些植株的生长是极为迟緩的。在鉀供应不充分的基础上施入的鈉,促进了各营养器官的良好发育,然而根的重量及其中的含糖量比对照植株却低得多。只是在一半的鉀剂量的基础上补施了等价的鈉及鈾的,植株才达到了正常的发育。在这种試驗处理中,糖用甜菜的产量和对照盆鉢相等,而且直根的含糖量也高一些。

Е. И. 潘且列也娃 (Пантелеева, 1956) 在水耕培养和砂基培养中曾研究与鋇及鈷的放射性同位素的效果相比較的鉀的化学效应和放射性效应的作用。在以与不足的鉀有同等渗透量 (Изоосмотическое количество) 的鈉的环境中进行培育的大麦試驗中,发现用鋇和鈷的放射性同位素混合液可以代替 75% 的鉀。

此外,潘且列也娃还研究了,如果在营养液中和鈉一起施入 $1/3$ 的鉀,而其余 $2/3$ 的鉀用作为放射剂 (Излучатель) 时,鉀的

輻射对大麦的发育究竟会有怎样的影响。試驗获得了如下的結果：在水耕培养中大麦产量由于鉀的輻射的作用而增加了 80.19%，而在砂基培养中則增加 21.21%。这些試驗也証明了鉀的放射性，对植物并不是无关紧要的。

可見，以同时施用了放射性元素的鈉来代替鉀是可能的，但是却不能全部用鈉代替。鉀为植物所必需，首先因为它是其它元素所不可能代替的一种大量元素。

鉀的放射性看来主要是能影响与新陈代谢及蛋白質、碳水化合物等个别形式的有机化合物的合成有密切关系的生物化学过程，不过这一問題还需要作进一步的研究。

假如竟作出了鉀及其它种經常存在于有机体中的放射性元素的放射性对生理过程沒有良好的作用，甚而会以本身的輻射給有机体带来危害这样的結論，那是錯誤的。如果說天然放射性元素对有机体在某种程度上是无益的或有害的，那么在進行过程中鉀就不会再被列为必需的元素，而代之以不具有天然放射性的鈉或其它种元素了。实际上所得到的結果也是与此相反的。鈉，尽管化学性質与鉀相似，却只能部分地代替鉀。在植物、特別是动物有机体的生活中，鈉与鉀同时实现着自己的、独立的生理作用。其它种化学元素也不可能代替鈉。

人、植物和动物有机体中的天然放射性

在生物长久存在的全部历史过程中，天然放射性元素始終是有机体的組成成分。前已指出，在土壤、洋海河湖的天然水、地下水源及大气中，无时无地不含有这些元素。它們的輻射能，即 α 、 β 和 γ 射綫，和其它种能源一起不断地参与在有机体中进行的最复杂的生物化学反应。

我們的地球已存在了几十亿年，而在其全部发展史中，它的每一个最微小的部分都是有天然放射性元素存在的。这些天然放射性元素和宇宙射綫一起构成了我們周围的天然放射性的环境。無論我們把电子計数器、电位計、驗电器、放射量探测器或其它种能

計算放射性的儀器放在甚么地方，它總是能够驗證出天然放射性的存在。所驗證的環境，依計數器系統的靈敏性與放射性物質的含量為轉移，一般是在每分鐘 10—100 次脈沖之間。

天然放射性是無害的；是有機體生存的一個必備條件。可是，在人類已經靠自己的原子裝備把天然放射性環境提高了的地方，或以某種目的開始將提高了數量的放射性元素施入有機體內時，就會大大超過放射性元素的天然含量，就會帶來危害了。這時就需要特別慎重。

有機體不同器官和組織中的天然放射性元素的含量是不一樣的。有機體由於生理上的要求而具有從周圍環境中積累比自然界中所存在的要多得多的天然放射性元素的能力。放射性物質及放射性本身的生理作用的實質究竟是什麼，這個問題還沒有得到解決。

現今已經知道的是取決於鉀及其它種放射性元素的、有機體的放射性：例如根據索耶爾(Sawyer)和威登貝克(Wiedenbeck, 1950)的資料，鉀的比活度是 1 克鉀每秒鐘形成 28.3 個 β 粒子，而 γ 活度則是 1 克鉀每秒鐘形成 3.6 γ 輻射。原子量為 40 的鉀的放射性同位素的比活度大約是 1 克鉀每分鐘 $4 \cdot 10^7$ 次蛻變。

體重 80 公斤的人的機體的總活動性，根據安德森 (Anderson) 和利比 (Libby, 1951) 的資料，對鉀來說等於每分鐘 475,000 次蛻變，對放射性碳來說等於每分鐘 220,000 次蛻變。因而，人的機體中只由鉀及放射性碳的放射性所引起的總天然放射性每分鐘就有 695,000 次蛻變。也就是說，每公斤體重每分鐘約 8687.5 次蛻變，或每克體重每分鐘 8.687 次蛻變。如果再考慮到有機體中取決於重放射性元素如鐳、釷及釷的含量的放射性時，那麼它們的總天然放射性將會是一個相當大的數字，每克體重每分鐘將有大約 10—12 次蛻變。

但是由於有機體選擇能力的不同，不同器官中的平均放射性可能有很大的差別。

研究個別天然放射性元素在有機體生活中的作用和意義以及

周围环境的天然放射性对生理过程的影响，是现代辐射生物学(радиобиология)的一个最重要的课题。

对这种现象有了确切的认识将会使我们能够更深入地理解那些在不很强的放射性射线、即天然放射性的影响下在活细胞内部所经常进行着的隐蔽过程。同样地，一定也可以使我们有可能正确地解决有关用来提高人和动物机体的生活能力、提高植物产量等的放射性物质的致电离射线的广泛利用这一最重要的问题。同时还可以严密地考虑生物学上的两个不同的现象，即存在于有机体内部的放射性元素的生理作用和放射性射线的外部影响。在前一种情况下，放射性元素不只是作为一种放射剂，同时它还能以本身的物理和化学性质在有机体严格地表现出选择能力时给以影响。在射线的外部作用下，有机体的选择能力及元素的各种性质都不能表现出来。同样，不同放射性元素对有机体的作用也是不一样的。

由于原子工业的废料及原子武器和氢武器试验，而可能发生土壤、天然水及大气被染污的现象。从拟定某种方法来防范这种现象的观点来看，这也是很重要的。

现今已有的试验资料表明，自然界中存在的天然放射性物质是不充分的，可是在许多情况下，对有机体来说又是过量的，并且还有与不足和过量有关的特种疾病发生，这些疾病与已知的、自然界中其它种微量和超微量元素如硼、锰、铜、锌、钴、碘的缺乏和过量所引起的疾病相类似。

В. И. 威尔纳茨基在指出放射性对有机体的作用时写道：“生物圈中的生命依靠两个主要的能源，即太阳辐射能和原子放射能。”¹⁾这方面的课题是必需作全面的进一步的研究的。

宇宙射线经常地在影响着有机体及周围环境，但对它的作用，研究得还很少。

宇宙射线是自宇宙空间抵达到地球表面的、具有很大能量的

1) В. И. 威尔纳茨基选集，卷1，657页，苏联科学院出版社，莫斯科，1954。

带电粒子流。

原发的 (первичный) 宇宙射线通过地球大气层深入而引起原子核的裂变，同时在途中发生相互撞击的现象。在裂变时会产生次生的 (вторичный) 质子、中子以及具有很大大能量的其它种粒子。这些都有助于许多种新物质的形成。从这一观点来看，经常自空气中的氮在大气中形成的天然放射性碳是值得特别注意的。它的形成过程可以想象为如下的方式：氮是大气中有最广泛存在的元素，它的原子核中包括有 7 个质子和 7 个中子。如果再合并(吸收) 1 个在宇宙射线的影响下在大气中出现的游离的中子时，氮的原子核就会变得过于活跃 (возбужденный)，而自本身分出 1 个质子。这样一来，氮就变成了门捷列夫周期系中相邻的元素，即不是含有 6 个而是含有 8 个中子的碳的重同位素。这种同位素的原子核是不稳定的，会自行蜕变，放出 1 个电子和 1 个中子，重新变成氮。天然放射性碳的半衰期是 4700 年。

在大气和有机体中，放射性碳的重同位素 C^{14} 的数量是不大的，但是这种放射性与活质有关，而且对生物学过程有直接的影响。放射性碳是有机化合物的组成成分。植物在二氧化碳的同化过程中能从空气中吸收放射性碳，而人和动物有机体则从植物性食物摄取。

现今，根据植物体中天然放射性碳的含量已经能相当精确地计算出最古老的残余植物体的生长年龄，例如 1370 到 4600 年生长年龄的树木，就可以准确地推算出来。此外，还能计算宇宙射线在我们行星上很长时期以内的作用强度。

宇宙射线对有机体也能给以直接的影响，而且看来并不会带来危害。在宇宙射线的影响下所发生的核变 (ядерное превращение) 是极其微小的。这些变化是只有借助于测量放射性射线的极灵敏的仪器才能发现的。对这种现象有必要作进一步的研究。

我们曾试图用放射性摄影法研究有关靠由于钾及其它种元素的放射性所引起的那种天然放射性以获得植物的放射性照片的可能性问题。我们抱着这种目的完成了以下一项试验：把糖用甜菜

培育在含有完全营养液及提高了钾剂量的培养器中；其它种放射性元素均未施用。在收割及作好相应的处理以后，即把糖用甜菜放进木制暗匣内，并且在黑暗中复盖以高度灵敏的X光胶片。过了6个月，把摄影胶片作了显影处理。

在放射性照片上(图17)可以看出从我們所得到的底片的印迹，

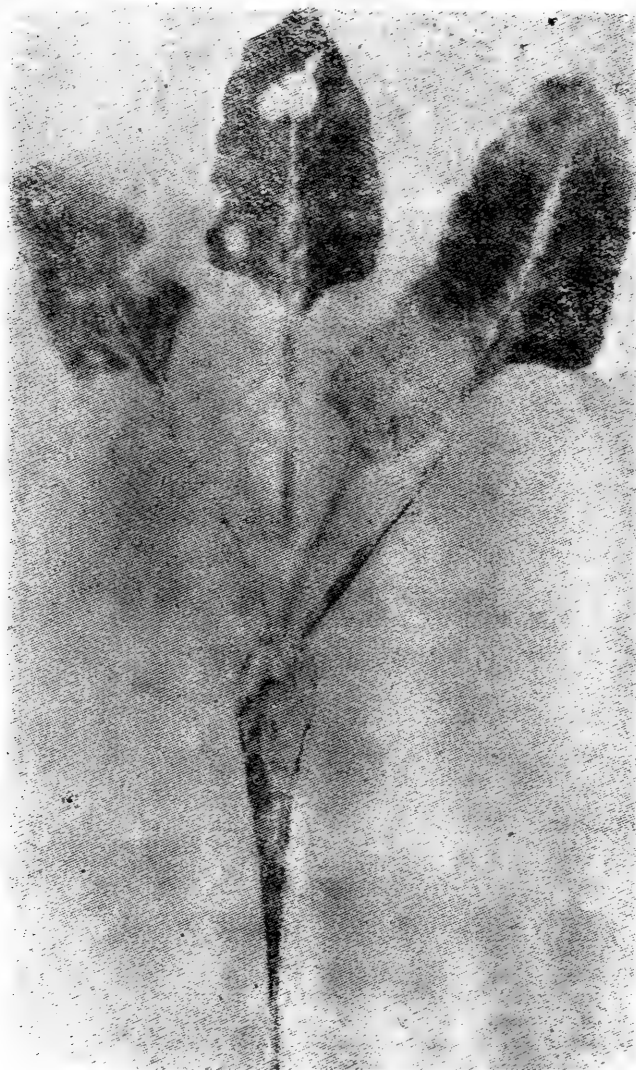


图17 糖用甜菜的放射性照片，得自本体的天然放射性(未用加强遮光板)(原图)
糖用甜菜所被放置于其上的纸对照相胶片的显影能力发生了影响

上面有糖用甜菜的叶和根的清晰的图象。用这种方法可以得到在自然条件下培育的任何一种植物的放射性照片，只要这种植物的放射性超过周围环境的天然放射性¹⁾。

然而在仔细地观察图17的放射性照片时，就不难看出，底片上的背景是黑的，而在照相纸上由于图象相反，因而是明亮的，可是以较短时间的曝光来摄取放射性照片时，底片上的背景则是明亮的，而照相纸上则是黑的。这是由于我们试图用以保护高度敏感的照相胶片来避免木制暗匣匣底对胶片的

1) 根据我们的资料，不同植物的天然放射性是不一样的。

作用的那張紙在黑暗中被拍攝下來了的緣故。不過我們確實得到了這一相反的結果。

經過幾年的摸索，我們終於找到了一種能保護敏感的X光膠片免受周圍物體的放射性的影響的方法，結果確定了，為了這個目的，最可靠的材料可能只有照相膠片和X光膠片。玻璃及各種金屬在長期曝光之下，都可能在黑暗中被拍攝下來。

圖 18 所示和圖 17 系同一株甜菜，不過這張放射性照片是應用了強力遮光板而攝取的。此外，遮蓋木制暗匣匣底的不是紙，而是兩張X光膠片。受試植株就放在膠片上。

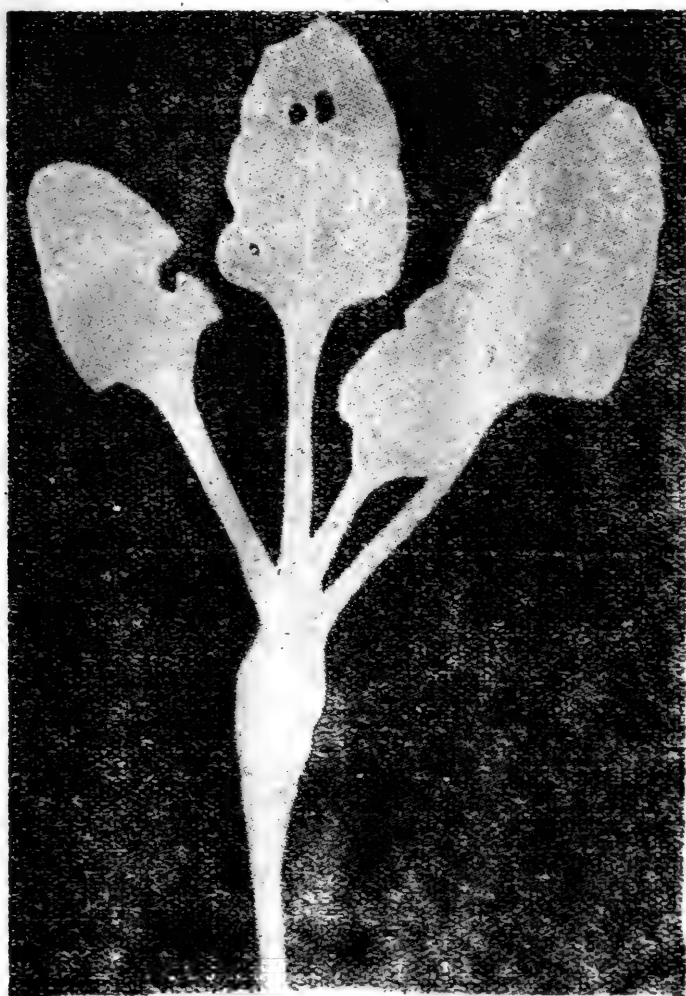


圖 18 使用了加強遮光板所取得的糖用甜菜的放射性照片(與圖 17 系同一植株);植株系放置于X光膠片上(原圖)

加強遮光板的应用使曝光的时间縮短了2/3。图18的放射性照片是曝光了两个月得到的,而图17的放射性照片則曝光了6个月。这种情况証实了前一张照片是由放射性射綫拍摄的,沒有化学作用及其它因素对照相胶片的作用。只是在有放射性射綫存在时,強力遮光板对照相胶片才能发生作用。

在图18的放射性照片上,已經可以清楚地看到,在不同生长齡的叶片和根中天然放射性元素含量的分布状况。放射性元素含量最多的是糖用甜菜根部最粗大部分和孳生叶子的根尖部。

图19的放射性照片所示是一支“金帕尔門”品种苹果,照片是依靠天然放射性摄取的。在使用強力遮光板的X光胶片上进行了115天的曝光。在苹果切片与X光胶片之間有一张薄的玻璃紙,这一衬垫物是用来清除化学物質对X光胶片的显影能力的影响的。在布置这一試驗之前,曾将风干的苹果放到温度为98—100°的定温箱中进行过12个小时的干燥处理。

我們也曾用放射性摄影法研究天然放射性元素在动物有机体中的分布情形。我們用家兔作了試驗。第一步工作是制作各器官的切片。把一定厚度的切片先在福尔馬林中、而后在酒精中固定。然后小心地在玻璃板上鎮压,一直到风干的程度。为了除去福尔馬林、酒精、以及揮发性有机化合物的殘余物,将切片放在定温箱中,在90°温度下进行12个小时的干燥处理。

把用这种方法制备好的切片放在紅光下的、加用了強力遮光板的Agfa durum牌X光胶片之上。在黑暗中进行了一定时期的曝光(116天)。然后把X光胶片显影。在放射性照片(图20)上所示就是用这种方法所得到的底片上的印跡,上面可以清晰地看出家兔的生殖器官(下方)。上方是家兔的脑的切片;脑的切片在放射性照片上之所以很不清楚,是因为其中所含的放射性元素相当少。放射性照片的下方有一个鐳的含量为 $10^{-10}\%$ 的校正标本。家兔的生殖器官和脑的切片是通过玻璃紙的衬垫物曝光的。



图 19 靠天然放射性所获取的“金帕尔門”
品种苹果切片的放射性照片



图 20 在同一X光胶片上、在同样曝光的情
况下，靠天然放射性所取得的兔脑的横切片
(上)及雄兔生殖器官(下)的放射性照片
 α ——含镭 $10^{-10}\%$ 的校正标本

自然界中各种放射性元素的含量

在自然界中广泛分布着各种放射性元素。它們經常存在于土壤、天然水、大气以及人、动物和植物的有机体中。

根据不同作者的資料,岩石放射性有如下的含量:

岩 石	鐳 10 ⁻¹⁰ %	鈾 10 ⁻⁴ %	釷 10 ⁻⁴ %	鉀 %
酸性岩石	1.4	4.0	13.0	2.6
中性岩石	0.51	1.4	4.4	2.0
碱性岩石	0.38	1.1	4.0	1.4
超碱性岩石	0.20	0.6	2.0	0.4

这是平均的数值,实际上岩石的放射性是在很大的范围内变动的。从所引証的資料可以看出,酸性岩石比碱性岩石含有較多的放射性元素。

对各种土壤中鐳、鈾和釷的含量研究得还很不充分。

根据現有資料,土壤中大約含有 10⁻¹⁰% 的鐳、10⁻³—10⁻⁴% 的鈾和釷。土壤中的各种天然放射性元素,究竟有多少是流动态的,也就是說植物可給态的,这个問題几乎还没有研究过。

根据 A. H. 托卡列夫 (Токарев) 和謝尔巴科夫 (Щербаков, 1956) 的資料,海水中鐳的含量在 $0.9 \cdot 10^{-14}$ — $450 \cdot 10^{-15}$ % 之間、鈾大約有 $2 \cdot 10^{-7}$ %、釷大約有 $4 \cdot 10^{-8}$ %。

河水中含有約 $2 \cdot 10^{-14}$ — $4 \cdot 10^{-13}$ % 的鐳及大約 $2 \cdot 10^{-8}$ — $5 \cdot 10^{-6}$ % 的鈾。

有关放射性元素含量的現有資料表明,它們在周围环境中的存在量是极小的,可是由于有着广泛的分布,因而在我們的行星及各种有机体的生活中却起着非常重大的作用。

为了考查鐳的总含量及流动含量,我們在位于查什尼科沃的国立莫斯科大学生物試驗站、比留列沃果树浆果試驗站及季米里亚捷夫农业科学院各地区采集了若干土壤样品,并且用射气法測定了鐳的总含量以及在用水和弱酸及強酸处理土壤时鐳轉移至溶液中的数量。这些土壤可以鑑定为中度馴化的中灰化壤土。

結果发现,未施用过鐳的地方,鐳的总含量在每克土壤 $0.6 - 0.7 \cdot 10^{-12}$ 克之間。

在水浸出液和弱酸浸出液以及用 $0.2N$ 和 $0.5N$ 盐酸溶液处理后的浸出液中的这个数值,只有极微量的鐳轉移到溶液里,因而,我們所应用的可以測定每克土壤 $n \cdot 10^{-4}$ 克的方法,对于測定这样微小的数量,看来是不够灵敏的。在已施鐳的土壤中,鐳的总含量可以增加到每克土壤 $1.4 \cdot 10^{-12}$ 克,也就是說,差不多增加了1倍。用 $0.2N$ 盐酸溶液取得浸出液时,轉移到溶液中的鐳只有这一数量的 5.2% ,而 $0.5N$ 盐酸的浸出液中也只有 11.46% 。

根据这些資料我們可以作出結論,即移动性的,也就是說,植物易吸收的鐳,在我們所研究的土壤中几乎是沒有的¹⁾。

在这方面开展进一步的研究不仅有理論上的意义,而且还有很大的实际意义,因为有关各种放射性元素在土壤中的总含量的現有知識还远远不能作出关于这些元素对植物的有效性的正确的結論。

B. И. 威尔納茨基在自己的著作中曾詳細地談到各种放射性元素在自然界中的含量和分布状况所由以决定的那些規律。

他写道,疏散状态是鈾和釷在自然界中存在的最特殊的形式。这种形式对鐳、氡、钋、鏷、銻、錒、氫、氦等尤为显著。

B. И. 威尔納茨基說,在自然界中一般不会存在有強烈放射性元素的放射性矿物,偶然的存在,也不会有。計算可以証明,如果把 500 克的氡聚集在一起,那末就会把周围环境的温度提高到那样一种程度,以致任何种地上物質的所有原子都会被气化或散逸。

然而每 1 立方厘米的空气中只含有 $1 - 1.3$ 个氡原子。由于这种疏散状态,才消失了它的可能的破坏作用。放射性元素的明显浓度往往是能打破任何平衡的、使周围环境有巨大变化的中心。

因此,从 B. И. 威尔納茨基的著作可以得出結論,即只有

1) И. О. Богатырев 曾参与这一研究工作。

在天然放射性的限度之內的較低浓度的強烈放射性元素，才可能对生物体有益。大大超出天然放射性的很高的浓度將給生物带来危害。这一最重要的理論原則应当是在生物学中应用放射性元素的全部研究工作的基础。

植物体中各种放射性元素的含量

植物在自身发育过程中借助于根系自土壤中吸收放射性元素，而动物有机体則通过植物性食物来获取放射性元素。植物拥有浓集比周围环境中通常所含有的多几十或几百倍的放射性元素的能力。此点已經被許多試驗所証实。

根据 B. И. 威尔納茨基的資料 (1929)，彼且尔郭夫池塘中的浮萍 (*Lemna minor*) 能浓集 13.7—47 倍的放射性元素，基輔近郊的一些池塘中的瘤萍 (*Lemna gibba*) 和品藻 (*Lemna frésulca*) 能浓集 200—477 倍的放射性元素。对基輔近郊一些池塘中的品藻，已經查明了下面一个重要的事实。发现在这些池塘中发育起来的浮萍含有 $9.75 \cdot 10^{-12}\%$ 的鐳，可是在这些浮萍所生长的水中，却完全沒有发现到鐳，虽然所应用的方法在数量上是可以測定 $2 \cdot 10^{-14}\%$ 的鐳的存在的(根据 K. Г. 庫納舍娃和 B. K. 布魯諾夫斯基的分析)。这一事实說明了生物具有从甚至連現代化的研究方法都不可能发现有放射性元素存在的那样的环境中浓集放射性元素的优异能力。

B. И. 威尔納茨基曾写道：“毫无疑义，有机体并不是偶然地把鐳浓集起来的……鐳是从水溶液进入到水生生物体——植物和动物——之內的；同时还发现有相当大——几十倍——的浓度。鐳自水溶液、土壤进入陆生植物体内，并从而通过食物及飲水进入陆生动物体内。显然，被生物圈的活質所浓集的鐳的浓度对生物圈的动力学及生物体必然会有重要的影响。”¹⁾

1) B. И. 威尔納茨基 关于由生物所浓集的鐳的浓度——“苏联科学院报告”，II 集，№ 2, 1929。B. И. 威尔納茨基 关于由植物机体所浓集的鐳的浓度——“苏联科学院报告”，A 集，№ 20, 1930。

不过，威尔納茨基曾預言，在这个研究领域中，进行初步試驗是需要花費巨大的劳动和巨額經費的。

最好是能給鐳制訂出一种測定少量放射性元素的方法；而在文献中有关这种元素的資料也最多。对于鈾和釷来說，直到現在仍然沒有能測定生物体中經常含量 (10^{-6} — $10^{-7}\%$ 及更少) 的既簡單而又精确的方法。

根据 E. П. 特罗亦茨基 (Троицкий, 1956) 的資料，个别品种的葡萄中鐳的含量在 $0.5 \cdot 10^{-12}$ — $2.9 \cdot 10^{-12}\%$ 之間，而这些植株所賴以生长的土壤則含有 $1.6 \cdot 10^{-10}$ — $2.3 \cdot 10^{-10}\%$ 的鐳。

霍夫曼 (Hoffman, 1943) 用螢光測定法 (флуорометрический метод) 研究过在天然条件下发育的植物的灰分中及动物的某些器官中的鈾的含量。为了明显起見我們把他的資料援引在下面。

所研究的对象		鈾的含量 ($10^{-6}\%$)	所研究的对象		鈾的含量 ($10^{-6}\%$)
苹果	种子	5.06		叶	26.5
葡萄	莖	0.008	大蒜	鳞莖	41.07
	果实、果皮	1.6		鳞莖外壳	4.38
	种子	2800.0		小鳞莖(无外壳)	2.47
馬鈴薯	块莖	0.0318	槲寄生	枝	3.73
蔕蘿菜	根	1.54		叶	5.85
	叶	2.95		浆果	2.16
	种子	0.956		种子	6.78
芹菜	根	7.91	松	枝	0.452
	主根	2.96		叶	2.54
	根的皮层	0.039			

从所援引的資料可以看出，不同的植物，鈾的含量是不一样的。含鈾最多的是葡萄的种子，其次是大蒜的鳞莖，占第三位的是芹菜的叶子。其余植物灰分中鈾的含量均在 $10^{-6}\%$ 左右。

放射性元素对植物的发育和产量的影响

研究放射性元素对植物、动物有机体和細菌的发育的生物学作用的試驗,是在1896年貝克勒尔发现了放射現象以后不久即开始

进行的。这类試驗在居里夫妇发现了鐳以后更有特別广泛的开展。

有关研究放射性元素在植物生活中的作用和意义的最初几次試驗，証明了植物在放射性射綫的影响下往往会停止生长，而叶片也由于叶綠素的消失而帶有黃色。此外，被試植株的叶子上还出现了褐斑。

种子在放射性射綫的作用下失去了发芽的能力。許多研究人員都获得了类似的结果。但是，如后来所查明的，放射性射綫只有在应用了大剂量及为时长达 6、7 天之久的照射下才会引起种子萌发的停滯。反之，在使用小剂量和短時間曝光时，放射性射綫却能加速种子的萌发并进而使植物有更为良好的发育。

莫利什 (Molisch) 在 1912 年曾研究放射性射綫对种子的萌发和植株进一步发育的影响。他試圖用特殊的試驗来弄清，能否借鐳的射綫以引起植物的向性。为此，他把重 3 毫克到 0.1 克的鐳放在和植株有一定距离的地方。結果发现了，燕麦和巢菜的新生的幼苗向有最高剂量的鐳的方向弯曲，也就是說，鐳的輻射引起了植物的正向性。

此外，莫利什还用專門的試驗确定了鐳的射气具有使在冬季的条件下休眠中的花蕾提早开放的能力。

同一时期，在国外也进行了利用放射性元素在农业中作为肥料、在医学中用以医疗的嚙試，尽管当时还没有有关这一問題的科學論据。

在本世紀头 10 年所进行的一些試驗的影响下，对放射性元素的兴趣大为增加，以致 1910 年在国外出现了用鐳矿和鈾矿工业的废弃物生产的第一批放射性元素肥料。根据斯托克拉查 (Stoklasa, 1932) 的資料，其中含有：氧化鈾 0.03%、 P_2O_5 6%、 K_2O 4% 以及其它許多种元素如鈣、鎂、鈉等。对糖用和飼用甜菜說来，这种肥料宜按每公頃 25—50 公斤計算施用，对小麦、黑麦和燕麦來說，每公頃宜施用 25—30 公斤。后来，西欧其它各国和美国也开始生产放射性元素肥料。有关放射性元素肥料的效力的研究是在各試驗站进行的。法国过去曾經很重視这些問題。

最初的許多次試驗結果就証實了這些種肥料對作物產量的增加有良好的作用，例如，馬爾坡（Malpeaux, 1913）在田間及盆栽試驗中由於施用了放射性元素肥料，因而使三葉草、燕麥、黑麥、糖用甜菜及其它種作物的產量增加了 17.7—25%。

在英國，糖用甜菜及其它許多種作物由於放射性元素肥料的施用曾經獲得良好的結果。放射性元素肥料對糖用甜菜產量的增加有特別強烈的作用。

在美國，列司比（Rusby, 1915）在哥倫比亞大學試驗站曾用幾年的時間來研究放射性元素肥料對蔬菜作物產量的影響。每英畝施用了 100—200 磅的放射性元素肥料，結果玉米的產量增加了 50%、黃瓜——增產 35%、小洋蘿卜——增產 70%、甜瓜——增產 50%，等等。

1913—1914 年在法國有一種刊物名為 “La radiumculture” 的專門雜誌第一期間世。巴黎科學院和法蘭西農業學會曾撥付特別經費用以研究放射性元素的生物學作用。

然而放射性元素肥料在農業中並未見諸於實際的應用。這是由於各種形形色色的原料都用作為放射性元素肥料的緣故，而其中放射性元素的含量並不過普通土壤中放射性元素的含量。這些原材料對於植物的發育當然是不會發生任何良好的作用的。此外，如前面所指出，放射性元素肥料在農業中實際應用無甚成效，也是由於對這一問題的理論上的探討還嫌薄弱的緣故。

研究放射性元素 20 余年的斯托克拉查發表了許多著作，指出了許多能說明鈾、鐳及天然放射性水對捷克斯洛伐克土壤條件下的各種作物的產量的增加、對 *Azotobacteria* 的固氮能力、以及對植物的二氧化碳的同化作用都有良好作用的事實。

霍布金斯（Hopkins, 1915）在伊立諾斯大學的試驗站進行了若干有關鐳對於玉米、大豆和苜蓿三種作物產量的影響的試驗。鐳是按每英畝 0.01、0.1 和 1 毫克的劑量施用的（0.025、0.25、2.5 毫克/公頃）。在這塊土地上並未施用其它種肥料。兩年的時間，進行了 6 項玉米試驗，其中 3 個試例確定了鐳對產量有良好的影響；

而另外 3 个試例并未发生任何作用。用苜蓿作了 18 个試驗，其中 9 例得到了良好的結果；和玉米試驗一样，另外 9 例均未发生任何作用。用大豆所作的試驗，也获得了类似的結果。不过，应当指出，这个地区在进行試驗的头一年曾发生严重的旱災，但是，尽管如此，每英亩施用了 0.01 毫克鐳 (0.025 毫克/公頃) 的用苜蓿所作的試驗中，干物質的产量每英亩毕竟还增加了 275 布舍尔 (約 69.5 公担/公頃)。較高剂量的鐳，增产量却較少。

这些試驗的缺点是于土壤中施用了鐳，却未施其它种肥料。放射性元素在植物生活中并不能代替其它种元素，恰相反，放射性元素加强了植物第一阶段的发育，結果更增大植物体对其它种元素的需要，特别是在旺盛生长时期，对其它种元素需要更甚。在已施放射性元素而未施其它种肥料之处，往往能引起急遽的減产。

列帕樸 (Lepape) 和特朗努 (Tronnoy, 1934) 在安排試驗之前，测定了两种土壤变种及其心土层中的鐳的含量，并从 1928 到 1933 年进行了施用鐳的田間試驗。所試植物有菜豆、蕪菁、胡蘿卜、大麦、小麦和罌粟。

在試驗中研究了鐳的三种剂量，即施入量分別为土壤中鐳的天然含量 ($0.09 \cdot 10^{-10} \%$) 的 10 倍、100 倍和 1000 倍。試驗地段的面积在 0.1 到 3.99 平方米之間。未进行重复試驗。无其它肥料基础。

除計算产量之外，在試驗小区每年都进行了土壤中及被試植株中鐳含量的測定。

試驗表明，只有施用了前两种鐳剂量的蕪菁产量有显著的增加。超过土壤中鐳的天然含量 1000 倍的最高剂量 ($1 \cdot 10^{-7} \%$)，对蕪菁的产量产生了不良的影响。我們把蕪菁的試驗結果援引在表 30 內。

从表 30 所引述的資料可以看出，在国外几乎还没有进行过能解决有关植物对天然放射性元素究竟需要到何种程度、植物是否普遍地需要各种天然放射性元素、以及如果需要、需要量是多少等这些根本問題的精确的生理試驗。

此外，在某些田間試驗及盆栽試驗中，往往都不是按照規定的

表 30 鐳对蕪菁的單位面積產量的影响

試驗处理	新鮮植株的总重量 (公斤)	植株个别部分的絕對干重 克/小区			干植株中的含鐳量(%)
		根	叶	总重量	
对照	2.82	238	112	350	$1.9 \cdot 10^{-9}$
鐳 10	4.85	356	158	509	$4.1 \cdot 10^{-9}$
鐳 100	4.8	364	195	559	$2.4 \cdot 10^{-8}$
鐳 1000	2.4	212	110	32	$3.1 \cdot 10^{-7}$

办法来安排和进行試驗的。也就是說，試驗都是在小区上进行，而且未作重复試驗。因此这些試驗的可靠性是很低的。

放射性元素大部分都是在无其它种必要元素的土壤中施用的。所应用的放射性元素的剂量非常高，例如在列帕樸和特朗努的試驗中最高剂量就超出了土壤中鐳的最适浓度的 1000 倍。

在莫利什的研究放射性射綫对种子的萌发和植物发育的影响的試驗中，曾应用重 0.003 到 0.1 克的鐳制剂以供照射之用，也就是說，最高剂量超过了鐳在植物体中的天然含量的 10 亿倍，等等。不过，这些研究毕竟还是具有一定的科学价值的。

福兰契 (French C. B., 1948) 在加拿大曾进行田間試驗以研究和矿质肥料及有机肥料配合施用的放射性物質对各种蔬菜作物产量的影响，也获得了良好的結果。

亚历山大 (Alexander L. T.) 在 1950 年发表了他在美国各州所进行的田間試驗結果，其中研究了 α 粒子*——由放射了 α 射綫的鈾及鐳和鈾所获得的产物，一种原子工业产品——对玉米、小麦、大麦、燕麦等农作物产量的影响。放射性物質是和种子一起施入的。增产量未超过对照地产量的 5—7%，也就是說，在試驗誤差的范围之内。但是根据試驗者的資料，在任何情况下放射性物質也未使产量降低。

某些学者 (M. B. 克列契柯夫斯基等人) 曾试图根据这些試驗資料作出放射性元素不可能有效果、放射性元素在农业的实际条件下沒有前途的結論。有一种情况他們沒有考虑到，那就是，在自

* 原书此处为 Альфатрон，意指 α 粒子。——譯者

然条件下，在放射性物質的效能跟土壤及植物之間存在着很复杂的关系。如我們所知道的，放射性元素归属于超微量元素之列。放射性元素往往被土壤微生物区系猛烈地吸收，因此在施用的第一年对植物來說可能是无效的。而在这些試驗中并未研究后效作用。第二个重要的疏忽之处是未能充分供应植物以氮、磷、鉀等其它种必需的元素。在这些試驗中均未施用可以作为基肥的矿質肥料和有机肥料。此外，放射性物質的作用与它們在土壤中的总量及有效量是极有关系的。产品質量的改善、籽粒中蛋白質以及碳水化合物和維生素含量的增加、植物对各种病害的抵抗力的提高等都是天然放射性元素有良好作用的最重要的標誌。这些問題在上述試驗中也都是沒有研究到的。

在苏联，最早的而且也是最重要的一些有关研究放射性元素在有机体生活中的作用的著作是在 В. И. 威尔納茨基及 Д. Н. 普梁尼什尼柯夫的领导下进行的。

这些著作主要着重于天然放射性元素在植物和动物有机体中的含量和它們的生物学作用的研究。

这些作品确定了一个重要的、完全新的原理，即一切植物和动物有机体在本身成分中一般都含有鐳及其它种放射性元素，而且在自然条件下发育的生物都拥有在本身成分中浓集比周围环境多几十以及几百倍的各种放射性元素的能力。

还在1915年，Ф. В. 齐里柯夫（Чириков）就在 Д. Н. 普梁尼什尼柯夫的實驗室中进行过几次盆栽試驗，研究在完全营养液的基础上施于培养基中的鈾对豌豆、小麦及其它种作物的产量的影响。这些試驗确定了，鈾对豌豆产量的增加有良好的作用。籽粒的产量从每盆 5.18 克提高到 8.92 克，而莖稈的产量也由 16.72 克增加到 19.18 克。

伟大的十月社会主义革命以后，这方面的研究有了显著的扩展。在 В. И. 威尔納茨基和 Д. Н. 普梁尼什尼柯夫领导的各實驗室的联合协作下，研究工作已經卓著成效地开展起来。

我們用了几年的时间作了一些試驗，研究了不同浓度的鐳对

植物发育的影响。采用的剂量是这样：使营养液中镉的最低浓度等于一般土壤中镉含量 ($n \cdot 10^{-10} \%$) 的千分之一,即 $1.4 \cdot 10^{-13} \%$, 而其余剂量是增加到 10 倍、100 倍和 1000 倍,也就是說,最高浓度相当于土壤中的一般含量。表 31 中所援引的是在水耕培养的条件下用豌豆 (*Pisum sativum*) 所作的盆栽試驗的最有代表性的試驗結果。試驗应用的是精細純化了的盐类及蒸餾水。

表 31 不同剂量的镉对豌豆產量的影响

培养基中镉的含量, %	收获物风干部分的平均重, 克/盆		
	生长物质	莢	根
对照(完全营养液+硼、錳)	4.88	0.85	0.56
$2.42 \cdot 10^{-13}$ 的镉	9.09	2.4	1.1
$2.42 \cdot 10^{-12}$ 的镉	8.57	2.7	0.98
$2.88 \cdot 10^{-11}$ 的镉	7.72	2.02	0.85
$2.42 \cdot 10^{-10}$ 的镉	7.4	2.37	0.9

如表 31 的資料所示,这些試驗中的最适剂量是营养液中的最低剂量,即 $2.42 \cdot 10^{-13} \%$ 。随着镉剂量的 10 倍、100 倍和 1000 倍地增加,产量已不見有进一步地提高,不过这些增大的剂量也并未发生显著的不良影响。

植物地上部分和根中的镉的含量,以及被植物所吸收的镉的百分数均列在表 32 內。最后一栏中引証的是与培养基相比較的、在地上器官和根中被植物所吸收的镉的浓度的統計結果。植物体中镉的含量是用射气法測定的。

表 32 植物体中的含镉量

培养基中镉的含量, %	植物体中镉的含量活重的%		为植物体所吸收的镉占施入浓度的%	镉的浓度	
	地上部分	根		地上器官	根
$2.42 \cdot 10^{-13}$	$5.02 \cdot 10^{-12}$	$1.19 \cdot 10^{-11}$	36.55	20.7	49.1
$2.42 \cdot 10^{-12}$	$1.96 \cdot 10^{-11}$	$1.46 \cdot 10^{-10}$	13.45	8.1	60.3
$2.88 \cdot 10^{-11}$	$3.37 \cdot 10^{-11}$	$1.45 \cdot 10^{-9}$	11.33	1.17	50.3
$2.42 \cdot 10^{-10}$	$5.07 \cdot 10^{-10}$	$1.04 \cdot 10^{-8}$	12.68	2.1	42.5



Д. Н. Плескишниковский

从表中資料可以看出，随营养液中鐳的浓度的提高，相应地，地上器官和根中的含鐳量也有所增大，然而在那些施入了最低剂量的鐳的盆钵中，鐳則能被植物最完全地利用。这些盆钵中的植物体吸收了 36.55% 的鐳。

值得注意的是，在鐳的剂量最低的盆钵中发育起来的植株的地上器官，与营养液中鐳的浓度相比較，浓集了 20.7 倍的鐳，而根則浓集了 49.1 倍。

随着营养液中鐳的剂量的增加，各地上器官的鐳的相对浓度逐漸下降了，绝对浓度則增大了。植物能从培养基中浓集鐳的这种特性，在 1939 年我們以类似的方法用燕麦、亚麻、蒿苣和黄瓜所

作的一些試驗中表現得也很清楚。表 33 的試驗結果表明了,与营养液相比較,植物所能濃集的鐳的倍数。

表 33 燕麥和亞麻植株中鐳的濃度
(在鐳的用量不同的情況下)

培养基中鐳的含量, %	地上部分		根	
	燕麥	亞麻	燕麥	亞麻
$2 \cdot 10^{-12}$	6	25	280	230
$2 \cdot 10^{-10}$	2.25	1.1	320	60
$2 \cdot 10^{-8}$	0.22	0.17	110	24

表 33 中援引的資料表明,植物的营养器官和根中的鐳的浓度都比培养基中鐳的浓度高。施用量較低的盆鉢中的植株的相对浓度,与在鐳剂量較高的盆鉢中发育的植株的相对浓度相比較,要高得多。

燕麥和亞麻的根系具有比地上器官能濃集数量多得多的鐳的能力,是頗引人注意的。

在另一些試驗中(在水耕培养条件下的),我們研究了不同生长期的豌豆吸收鐳的現象。試驗証明了,植物在全部生长期都是能吸收鐳的,但是最多的积累則是在开花期和成熟期。豌豆地上器官中的鐳的含量(換算为干物質时,鐳的%)是:

在旺盛生长期	$0.68 \cdot 10^{-11}$
开花期	$1.14 \cdot 10^{-11}$
成熟期	$2.9 \cdot 10^{-11}$

不只是在人造培养基中,而且在自然条件下培育植物时,这一特点也可以表現出来。現在我們把 К. Г. 庫納舍娃 (Кунашева, 1944) 研究两种品种小麦在不同生长期中鐳的含量的資料引証在下面。這項研究工作是在列宁格勒州彼且尔郭夫近郊的一个試驗地段上进行的。

橡胶草属于对放射性元素有最大量需要的植物。

在以砂基培养所进行的盆栽試驗中,我們研究了放射性元素对一年生及二年生橡胶草的橡胶产量和含量的影响,也曾研究借

采集供分析用植株的时期	品种 Triticum Prelude	品种 Triticum ferrugineum
旺盛生长时期	$1.31 \cdot 10^{-12}$	$0.83 \cdot 10^{-12}$
开花期	$1.32 \cdot 10^{-12}$	$1.33 \cdot 10^{-12}$
抽穗期	$1.4 \cdot 10^{-12}$	$1.61 \cdot 10^{-12}$

放射性元素以增加橡胶草根中橡胶含量的可能性。此外我們也用放射性摄影法弄清了放射性元素在植物体内的进入过程和分布状况所存在的规律性。这一点对于更深入地解释放射性元素对橡胶产量和橡胶草中橡胶的含量之所以有良好作用的原因是很重要的。

这些盆栽試驗是在玻璃的盆钵中进行的，所应用的是未洗淨的石英砂，每盆用量是按 9.5 公斤計算的。

試驗研究了三种浓度的鐳的影响，即每盆 $10^{-11}\%$ 、 $10^{-10}\%$ 和 $10^{-9}\%$ 。氯化鐳是在播种前在补施了硼和錳的格尔里格尔完全营养液的基础上施入的。橡胶草播种于 1950 年 6 月 9 日；試驗重复了 4 次。植株在全部生长时期都是用蒸餾水灌溉的，按砂基的完全持水量的 60% 計算。

鐳的良好作用对植株的幼苗就已有显著的影响。播种以后过了 14 天，对照盆钵中 50 个所播入的种子中，已出芽的只有 7 棵，而在施用了最低剂量的鐳 $10^{-11}\%$ 的盆钵中，这时已长出了 22 棵幼苗，鐳剂量为 $10^{-10}\%$ 的盆钵中有 35 棵，而在有最高剂量的鐳 ($10^{-9}\%$) 的盆钵中則有 30 棵。

此后，有鐳的盆钵中的植株发育得都比較好。

在对照盆钵中发育起来的橡胶草，在第一年无花序形成，而在有鐳的盆钵中，植株开花頗为旺盛(图 21)。

对橡胶草根中橡胶含量所作的分析，証明了无論是在生活的第一年，也无論是在第二年，鐳都能显著地提高橡胶的含量。施用了最低剂量鐳 ($10^{-11}\%$) 的三个盆钵，都获得了最好的結果。

对照盆钵中，在生活的第一年，橡胶草的根含有 3.36% 的橡胶，而在第二年含有 10.5% (換算成干重)。在施用了最低剂量的鐳的盆钵中，橡胶草的根在生活的第一年含有 5.7% 的橡胶，而在第二年則含有 17.45%，也就是說比对照植株多 66.2%。在有鐳

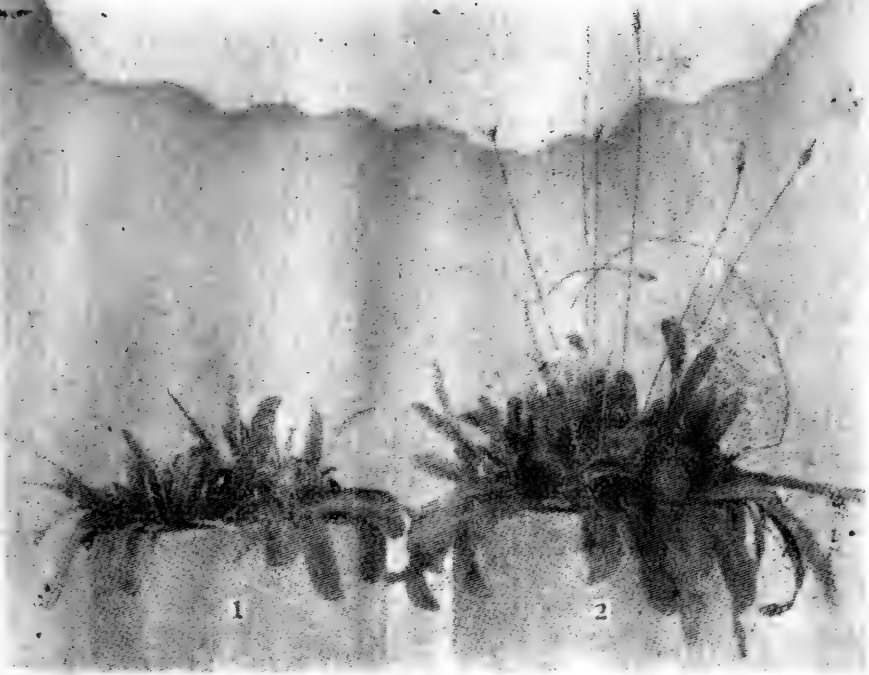


图 21 在砂土培养中镭对橡胶草发育的影响(原图)

1 对照,有各种微量元素的完全营养液,无镭; 2 同,有镭

的盆钵中,根的产量也高些。

在放射性照片上可以看出,在橡胶草生长的初始阶段(图 22)以及在生活的第二年(图 23)镭的进入和分布的状况。和其它种植物一样,镭多半浓集在花序中。

图 24、25 两张放射性照片所示系新生的豌豆和橡胶草植株的叶片。在图上可以清晰地看出镭在叶片中的并不相同的分布状况。

我們用了几年的时间在盆栽試驗中研究了放射性元素对糖用甜菜、胡蘿卜及其它种作物的产量以及其中含糖量的影响。放射性元素的作用的研究是在普梁尼什尼柯夫完全营养液并增施各种微量元素的环境中进行的。未施放射性元素的普梁尼什尼柯夫营养液用作对照。

在試驗中我們把具有不同輻射的各种放射性元素的作用作了比較,例如:鈾 X_1 就是一种單純的 β 輻射剂,針和釷均只能放出 α 射綫,鈾和鐳則能同时放射出所有三种射綫,即 α 、 β 和 γ 射綫。

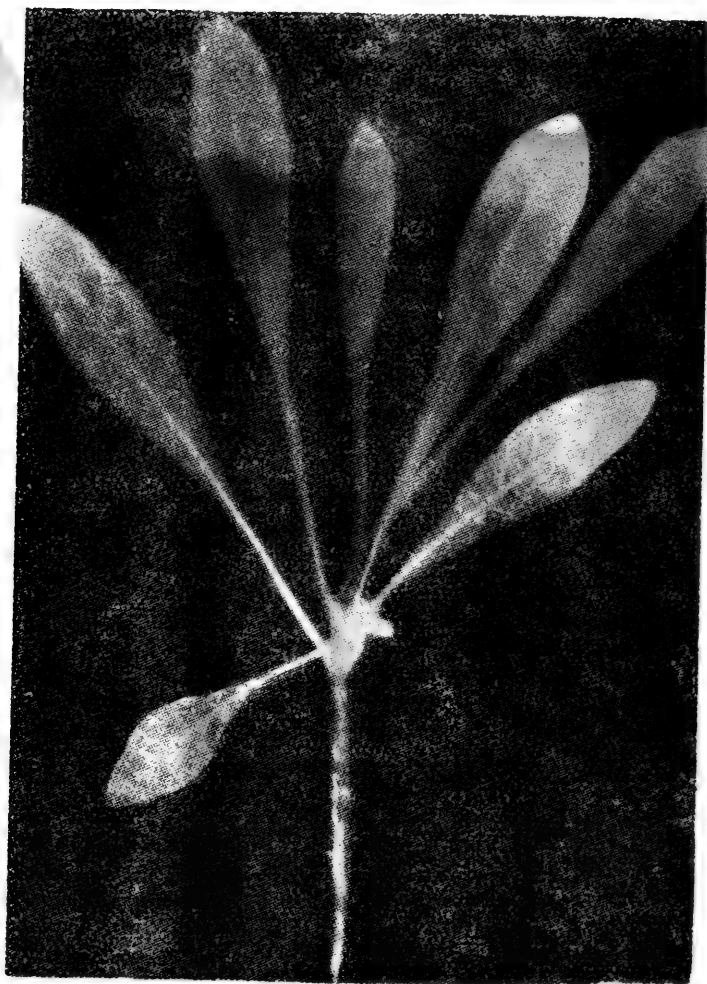


图 22 靠鐳的輻射所取得的新生橡膠草植株的放射性照片(原图)

放射性元素是以溶液的形式在播种糖用甜菜以前施入盆钵中的，所施深度是 7 厘米。放射性元素的剂量是根据营养液中对比于浓度 $10^{-10}\%$ 的鐳的蜕变中的原子的数目来确定的。盆钵的容量是 8 公斤砂土。

我們把用糖用甜菜所作的盆栽試驗的最有代表性的試驗結果援引在下面(表 34)。

如同我們从表 34 所看到的，我們所研究的各种放射性元素对糖用甜菜根部糖分的增加及叶子中不同形式的碳水化合物的含量都产生了良好的作用。然而不同放射性元素所起的作用是不相同的。

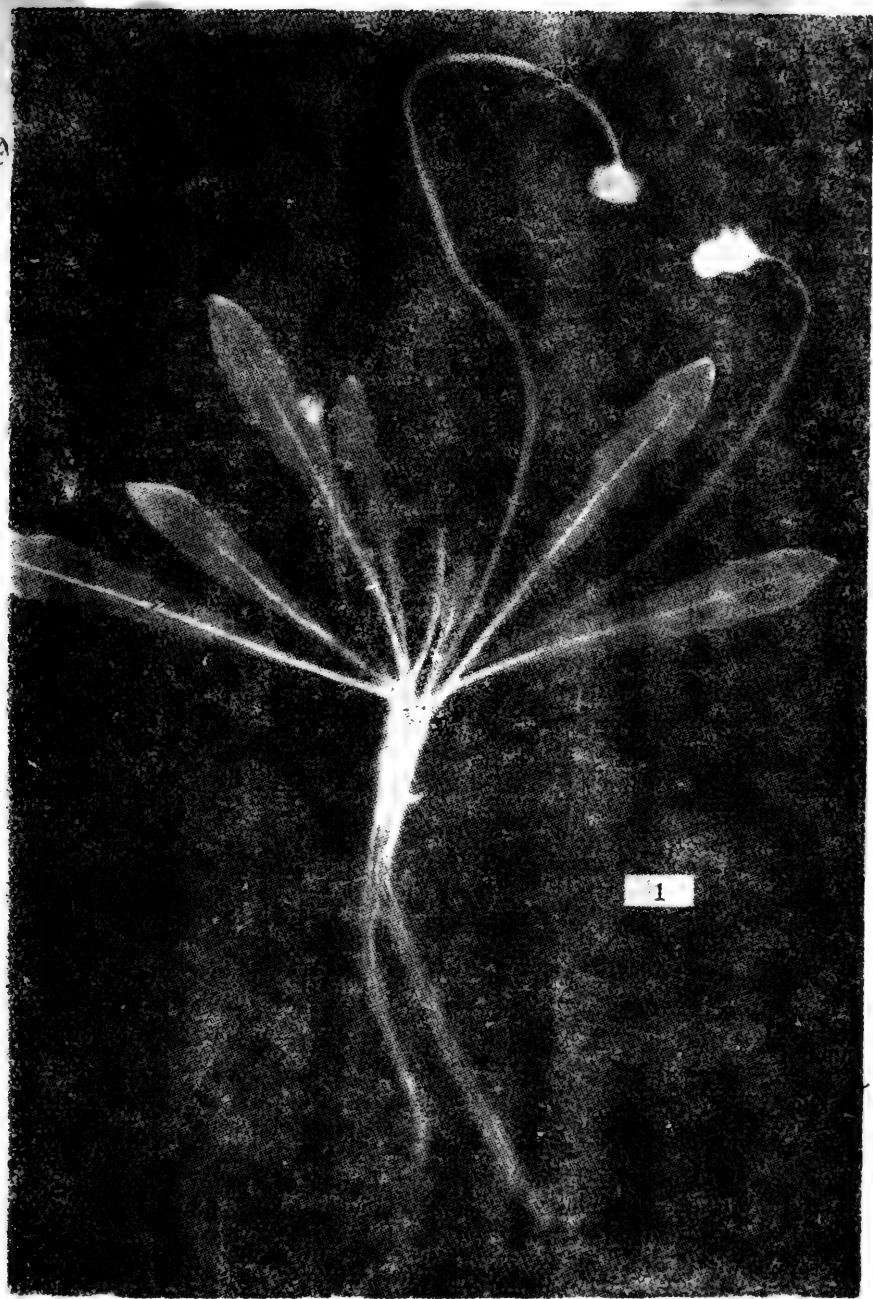


图 23 在有镭的沙基培养中所培育出的二年生橡胶草的放射性照片(原图)
1——含镭 $10^{-9}\%$ 的校正标本 在开花时期,镭多半浓集在花中

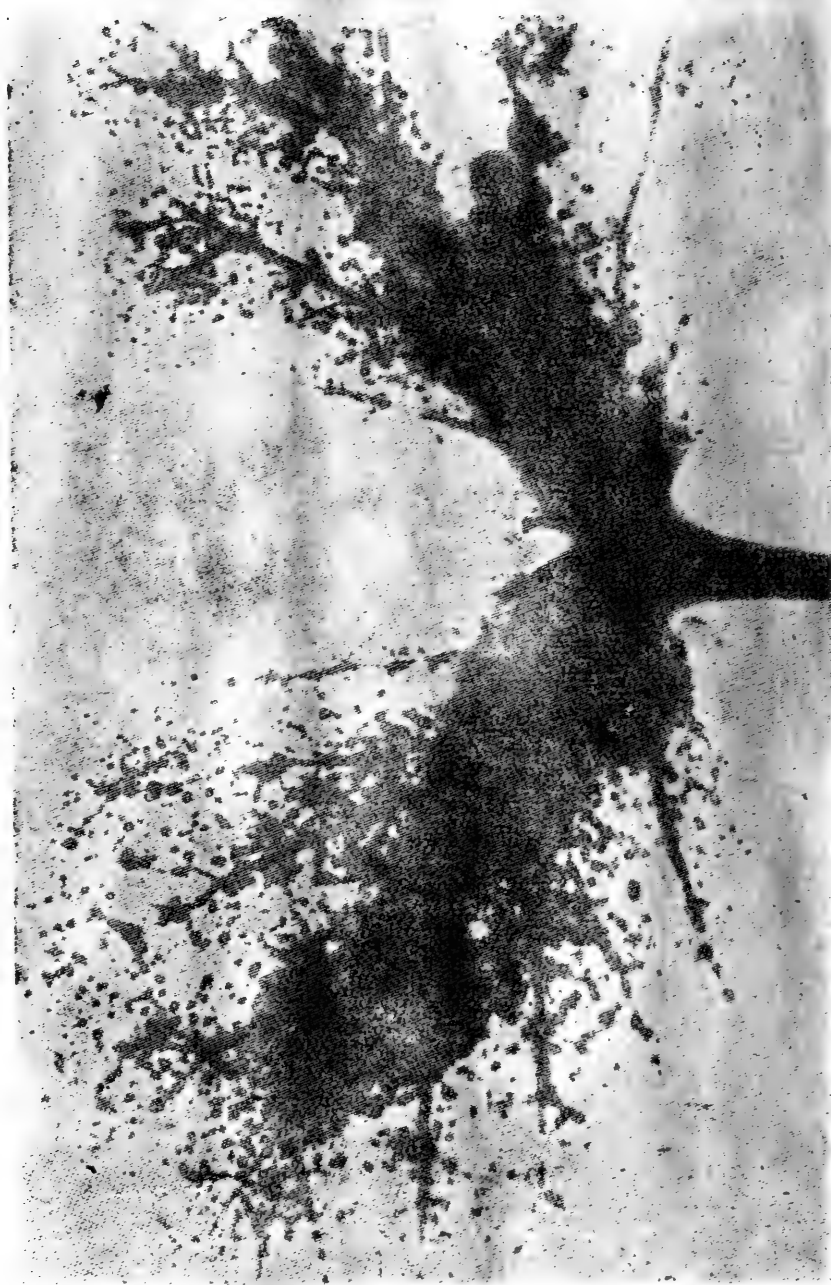


图 24 · 自底片放大所取得的豌豆叶片的放射性照片(原图)
黑点表明镭在叶组织中的不均匀的分布(底版的象)



图 25 自底版放大后所取得的烟草草叶片的放射性照片(正象,原图)

表 34 放射性元素对糖用甜菜的发育及碳水化合物含量的影响

試 驗 处 理	收获物的平均重 克/盆		根中糖的 含 量 %	叶中碳水化合物的含量,%		
	叶	根		单 糖	蔗 糖	轉化后的 总 含 量
对照(完全营养液)	12.85	1.18	5.0	0.56	0.37	0.93
完全营养液+鉍 X_1	21.2	2.86	7.35	0.75	0.51	1.26
完全营养液+鉍	27.5	3.0	7.6	0.85	1.02	1.87
完全营养液+鉍	20.5	2.16	6.88	1.02	1.04	2.06
完全营养液+鉍	23.4	2.58	8.75	1.5	1.0	2.5
完全营养液+鉍	23.25	2.42	8.7	1.2	1.05	2.25

在 8 月 20 日以前,在試驗中也清楚地呈現出放射性元素的另一特点,即:在有鈾 X_1 、鐳、釷和鈾的盆鉢中,植株在本身最良好生长时期以前孳出的最发育的下部叶子开始变黄和衰亡了。而在有正常剂量的鉀但无放射性元素的盆鉢中以及有鈔的盆鉢中就没有发现这种现象。

如我們后来所得以确定的,叶子的过早衰亡是由于缺乏其它种营养元素,并且首先是缺少氮素所引起的。由于在放射性元素的影响下植株有了更好的发育,因而植株能加紧消耗而且很快地就用尽了存在于盆鉢中的其它种营养物质。

在 8 月 22 日,我們給所有植株追施了氮肥和磷肥,其中也包括对照处理的植株。这一措施大大改善了植株的发育,特别是有放射性元素的盆鉢中的植株。追肥以后,下部叶子变黄和衰亡的现象即行中止。放射性元素的这种特殊的作用,在布置試驗时是必须注意到的。

10 月 29 日进行了試驗結果的最后一次統計。放射性元素对糖用甜菜产量的提高及根部含糖量的增加的良好作用一直保持到植物生长期末。所研究的各种放射性元素中效力最佳的是鈔,例如:对照植株根收获物的平均重量是 34.2 克,其中含糖 13.6%。由于鈔的施用,根重增加到 63 克,而糖的含量則增加到 16.2%。

在用“南斯特”品种胡蘿蔔所作的試驗中,我們研究了鈾、鐳和

表 35 鐳、鈾和鈔对胡萝卜產量及其根中含糖量的影响

試 驗 处 理	胡蘿卜根的平均 重,克/盆	干营养物質的平 均重,克/盆	轉化后糖的总含量 %
普梁尼什尼柯夫营养液	39.10	3.06	3.84
普梁尼什尼柯夫营养液 + 硼和錳	48.5	4.05	5.76
普梁尼什尼柯夫营养液 + 鐳 $0.62 \cdot 10^{-11}\%$	60.25	3.2	7.07
普梁尼什尼柯夫营养液 + 鈾 $5.8 \cdot 10^{-5}\%$	85.31	4.65	6.56
普梁尼什尼柯夫营养液 + 鈔 $8.2 \cdot 10^{-6}\%$	58.46	3.71	7.20

鈷的作用。

試驗是在玻璃盆鉢中进行的。每盆施用了 8 公斤洗淨的石英砂，普梁尼什尼柯夫完全营养液、以及硼酸和硫酸錳各 10 毫克。放射性元素是在播种以前施入的，深度为 7 厘米。

植株用蒸餾水灌溉，按完全持水量的 60% 計算。試驗結果如表 35。胡蘿卜中的含糖量是用別尔特兰法 (Метод Бертрана) 測定的。放射性元素的良好作用表現为产量的增加，也表現为胡蘿蔔根中的含糖量的提高，并且在这些試驗中，作用最好的是鈷。就效力來講，其次是錳，第三是鈷。

在喀山試驗站的田間条件下所进行的試驗中，曾研究硼鎂肥料及放射性元素肥料对糖用甜菜的产量及其根中糖分增加的影响。

放射性元素的作用是在施用了以下数量的完全矿質肥料的基础上进行研究的：每公頃 60 公斤硝酸銨态氮、每公頃 90 公斤过磷酸鈣态磷酸酐(P_2O_5)及每公頃 90 公斤鉀盐态氧化鉀(K_2O)。

硼鎂肥料是在播种前按每公頃 15 公斤硼酸計算进行条施的，而錳則是按 $10^{-11}\%$ 計算的 (1公頃可耕土壤层的重量以 3,000,000 公斤計)。肥料复埋于 7—8 厘米深处。試驗重复了 4 次，試驗小区的面积为 10 平方米。土壤是中灰化壤土。

糖分是按別尔特兰法測定的。試驗結果如表 36。

表 36 放射性元素肥料和硼肥对糖用甜菜的产量及其含糖量的影响

試 驗 处 理	根 的 平 均 产 量 公担/公頃	平均含糖量%
NPK(对照)	155.0	14.64
NPK + 硼肥	187.5	16.64
NPK + 放射性元素肥料	175.2	20.1

从表中可以看出，放射性元素肥料对产量的增加，作用很小，增产量只有 13.2% (这个增产量可以認為是在試驗誤差范围之內的)。但是根中的含糖量在放射性元素的影响下却增加了 36.6%。

硼肥对产量的增加比对糖的含量的作用要显著得多。

我們在盆栽試驗中曾研究放射性元素对植物品种特性的影响。我們抱着这样的目的在盛有純淨的石英砂的玻璃盆鉢中用各种品种糖用甜菜作了試驗。每盆施入了 12 公斤砂, 格尔里格尔完全营养液, 以及硼酸和硫酸錳各 20 毫克。施入的放射性元素是氯化鐳及与鐳有等放射量的, 无稀土族元素杂质的純硝酸盐态鈾, 施用量为 $10^{-11}\%$, 施入深度是 5 厘米。試驗重复了 4 次。在旺盛生长时期給植株进行了补充追肥。試驗結果如表 37。

表 37 放射性元素对不同品种糖用甜菜的產量及含糖量的影响

試驗处理	品 种								
	“拉 蒙 斯 基”			“威尔赫尼亚乞斯基”			“伏 尼 斯”		
	四次重复試驗 的根的平均重		糖的含量	四次重复試驗 的根的平均重		糖的含量	四次重复試驗 的根的平均重		糖的含量
	克/盆	%		克/盆	%		克/盆	%	
对 照	154.3	100.0	14.36	169.0	100.0	15.61	147.7	100.0	16.24
鐳	163.0	105.7	16.34	215.6	127.6	16.73	156.3	106.55	20.1
鈾	127.0	82.7	14.88	227.3	134.5	16.51	177.5	121.0	18.64

1953 年我們同季米里亚捷夫农业科学院观赏花卉园艺試驗站共同进行了研究鐳和鈾对不同品种的紫菀的发育及抗病力的影响的田間試驗。

这个問題对实用花卉园艺說来是有重大的意义的, 因为某些品种的紫菀往往在开始开花以前就差不多完全枯死了。

試驗所用均系最常受病的品种, 包括: 烏尼庫姆(Уникум)、双花(Двуцветная)、胜利(Виктория)和凱旋(Триумф)。

試驗是从研究低浓度放射性元素对种子的萌发及其进一步发育的影响开始的。

1953 年 3 月 26 日, 为了这个目的而将每一品种的同 等数量的种子在浓度为 $1 \cdot 10^{-11}\%$ 的氯化鐳及浓度为 $2.5 \cdot 10^{-3}\%$ 的鈾的溶液中浸透, 蒸餾水中浸种作为对照; 所有試驗处理的浸种时日都是一样的。用溶液处理过的种子在水分自种子表面蒸发以后, 即行

播种于装满含 1/3 腐植质的生草土的箱内。4 月 2 日出现了第一批幼苗。

4 月 14 日,对正常发育的植株作了最终统计,结果如下。 镭和钋对不同品种紫菀的种子的萌发的影响:

紫菀品种	对照	镭	钋
“双花”	235	406	375
“烏尼庫姆”	280	226	320
“胜利”	647	602	718
“凱旋”	393	362	420

在所有试例中,在含有钋的溶液中浸种的对种子的萌发均产生了良好的作用。

“烏尼庫姆”、“胜利”和“凱旋”三个品种在含 $1 \cdot 10^{-11}\%$ 镭的溶液中的完全同一时日的浸种却产生了否定的结果。看来这是由于对这些品种来讲甚至于在镭的稀溶液中的 14 小时的浸种都嫌过长的缘故。

然而对“双花”品种说来,这一浸种时日却是最适的了。
在 4 月 15 日,全部植株均已移植于温床上,继续生长到 1953 年 6 月 6 日。 在这一时期内,曾用与浸种时同样浓度的镭和钋的溶液,采取喷施的方法给植株进行过两次根外追肥。 对照植株则喷以水。

1953 年 6 月 6 日又将植株从温床移植在很好地施过肥料的田间地段上,因此在盛花期以前,这些植株仍在继续生长。

大约过了 1 个月,对照植株即普遍出现了我们曾姑名之为“黑胫病”(черная ножка)的病害。此病的特征是植株的干枯。 由于是个别的试验处理,因而病害出现得并不一致。

表 38 镭和钋对“双花”品种紫菀的抗病力的提高的影响

试验处理	在田间栽种的植株数	8/Ⅶ 1953年		23/Ⅶ 1953年		5/Ⅷ 1953年	
		已死株数	已死植株%	已死株数	已死植株%	已死株数	已死植株%
对 照	204	17	8.33	85	41.6	107	52.4
镭	344	6	1.75	11	3.19	31	9.0
钋	348	24	6.9	69	19.83	91	26.1

在若干时期内所作的精确的统计说明了，镭和钍在所有情况下都显著地提高了植株对病害的抵抗力。然而在用“双花”品种紫菀所作的试验中得到的结果是最有代表性的(表 38)。

从表 38 的资料可以看出，镭能大大提高紫菀的抗病力：在 8 月 5 日以前，对照小区上的全部较早移植的植株中，死亡的已有 52.4%，在有钍的小区，死亡的有 26.1%，而在有镭的小区只有 9%。

在用其它 3 种品种紫菀所作的试验中，放射性元素只是显著地提高了生长的最初阶段的，也就是开始盛花以前的植株对病害的抵抗力。而在此以后，由于大量降雨的结果，连有放射性元素的小区上的病株数目也有了显著的增加。

H. Г. 日日里(1955)曾用 11 年的时间在田间试验和盆栽试验中研究于土壤中施用放射性元素时小剂量的钍和镭对各种农作物的产量的影响。1948 年他开始作如下试验：把容量为 100 公斤的无底容器埋在地下，然后装满同样的土壤，并施入以下数量的放射性元素：每公斤土壤 10^{-9} 克的镭和 10^{-4} 克的钍及不同剂量的、有天然放射性的頁岩粉。试验进行了 8 年。在容器中在不同的年

表 39 頁岩、镭和钍对各种农作物产量的影响及后效作用

年, 农作物	肥料						
	未施肥	頁岩0.6 克/公斤	頁岩1.5 克/公斤	頁岩3 克/公斤	頁岩6 克/公斤	镭 $1 \cdot 10^{-9}$ 克/公斤	钍 $1 \cdot 10^{-4}$ 克/公斤
1947, 馬鈴薯块茎	100.0	103.0	107.0	119.2	141.3	124.2	137.3
1948, 甘蓝(商品的)	100.0	—	144.8	—	124.4	113.3	138.3
1949, 燕麦(籽粒)	100.0	112.7	115.1	135.2	134.5	133.9	123.6
1950, 三叶草+猫尾草 (干草)	100.0	116.9	112.7	119.9	102.2	110.9	118.1
1950, 三叶草+猫尾草 (第二次收割的干草)	100.0	132.4	109.0	119.1	104.5	112.7	168.9
1951, 春小麦(籽粒)	100.0	119.1	128.4	134.1	140.3	133.8	135.5
1952, 食用甜菜(根)	100.0	113.2	131.4	114.5	124.5	110.0	129.6
1953, 向日葵(青贮料)	100.0	121.0	105.0	122.5	136.0	111.3	122.8
1954, 馬鈴薯(块茎)	100.0	109.8	113.02	120.0	127.9	132.1	121.8
8 年 平 均	100.0	116.0	118.5	123.1	126.2	120.2	132.9

份培育过不同的植株：甘蓝、燕麦、三叶草及貓尾草、春小麦、食用甜菜、向日葵和馬鈴薯。

与对照相比較，在个别的年份中由于鐳的影响增产量在 10.9—33.9% 之間，而因鈾的施入，增产量則为 18.1—68.9% (表 39)。



图 26 在有鐳的水耕培养中培育出来的番茄的放射性照片(原图)

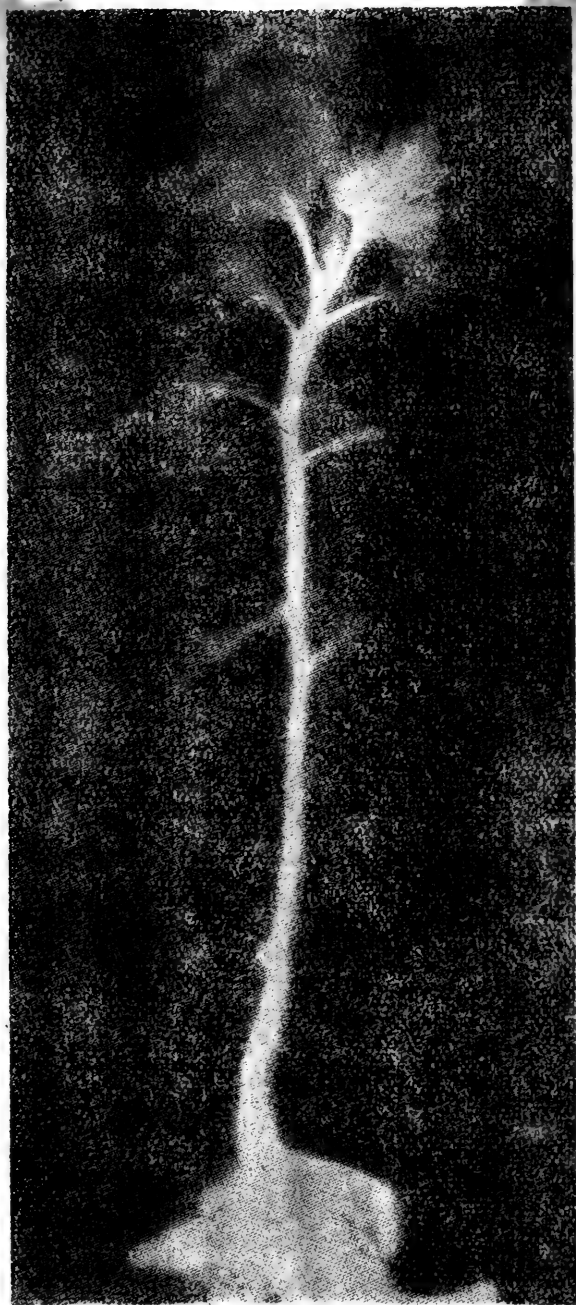


图 27 在有镉的水耕培养中培育出来的菊花植株(原图)

镉聚集在新生的叶子中,图上较清晰处

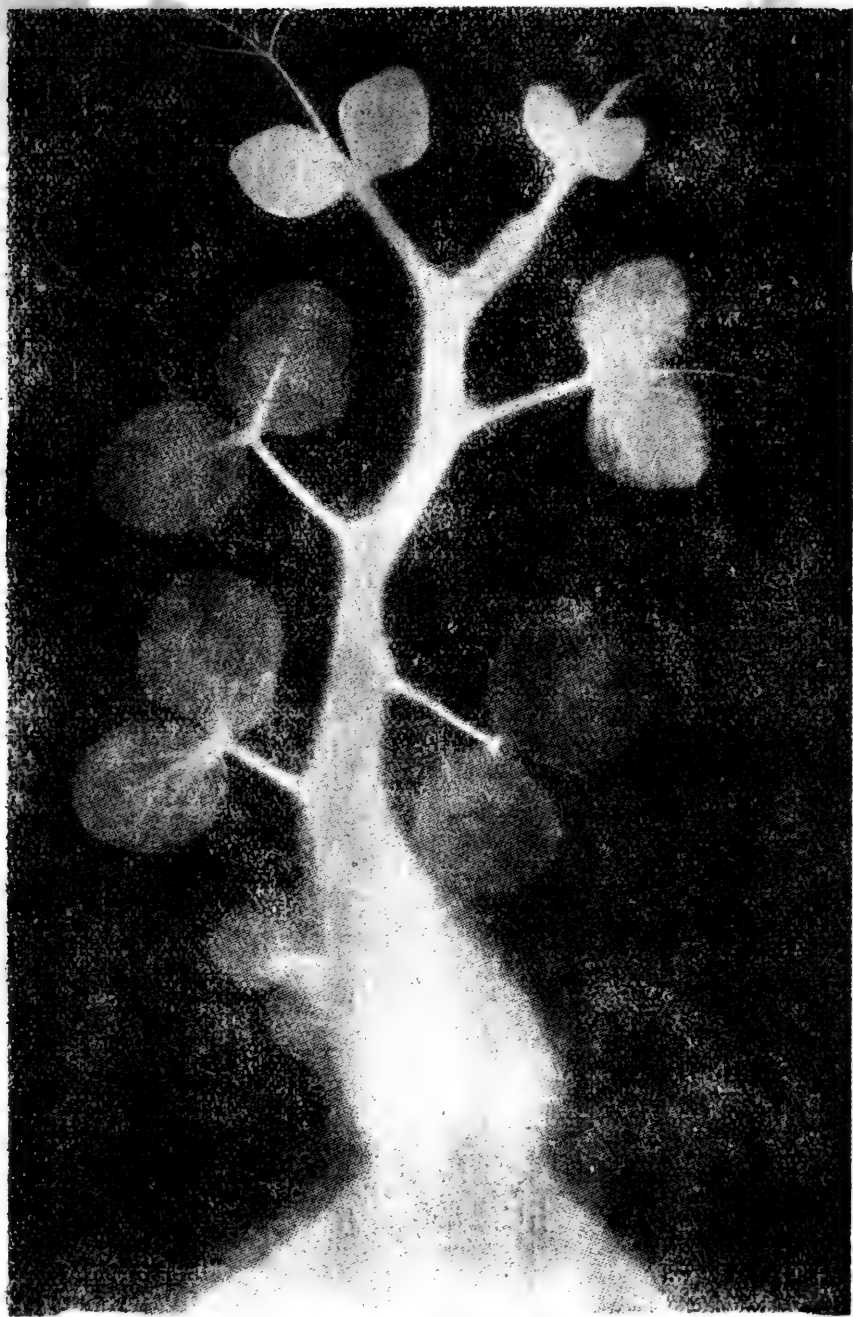


图 28 在有镉的水耕培养中培育出的豌豆的放射性照片(原图)
镉聚集在新生的叶片中,图上较清晰处

我們借助于放射性摄影法确定了，通过根部进入植物体中的镭能一无例外地向所有器官分布，不过，多半都聚集在旺盛生长中的部位，包括生长点，上部新生的而且正在最旺盛地发育着的叶子和结实器官。下部衰老的叶子中含镭很少。这在相应的照片上显示得特别清晰。

图 26 所示是一棵生长龄为 45 天的“斯帕尔克斯·爱尔里安娜(Спаркс Эрлиана)”品种番茄的新生植株，是在水耕培养条件下的、含镭的完全营养液中培养起来的。幼龄的番茄能极猛烈地从营养液中吸收镭，通过根部进入植物体中以后，即向所有各器官分



图 29 在有镭的水耕培养中培育出的三叶草的放射性照片(原图)
在开花时期，镭液聚在花中

布。但是含鐳最多的則是葉片的最邊緣部分。在葉片中央,鐳是相當少的。因為在放射性照片上不很清楚。這種現象在菊花(圖27)和豌豆(圖28)的植物體中也很明顯。幾乎全部植株都影射在放射性照片上了,不過個別器官的圖象的清晰度表明,上部最新的葉子比下部較老的葉子含鐳多,在照片上完全看不到較老的葉子。只有在莖生着葉片的部分可見,可是上部的葉子則顯得很清楚。

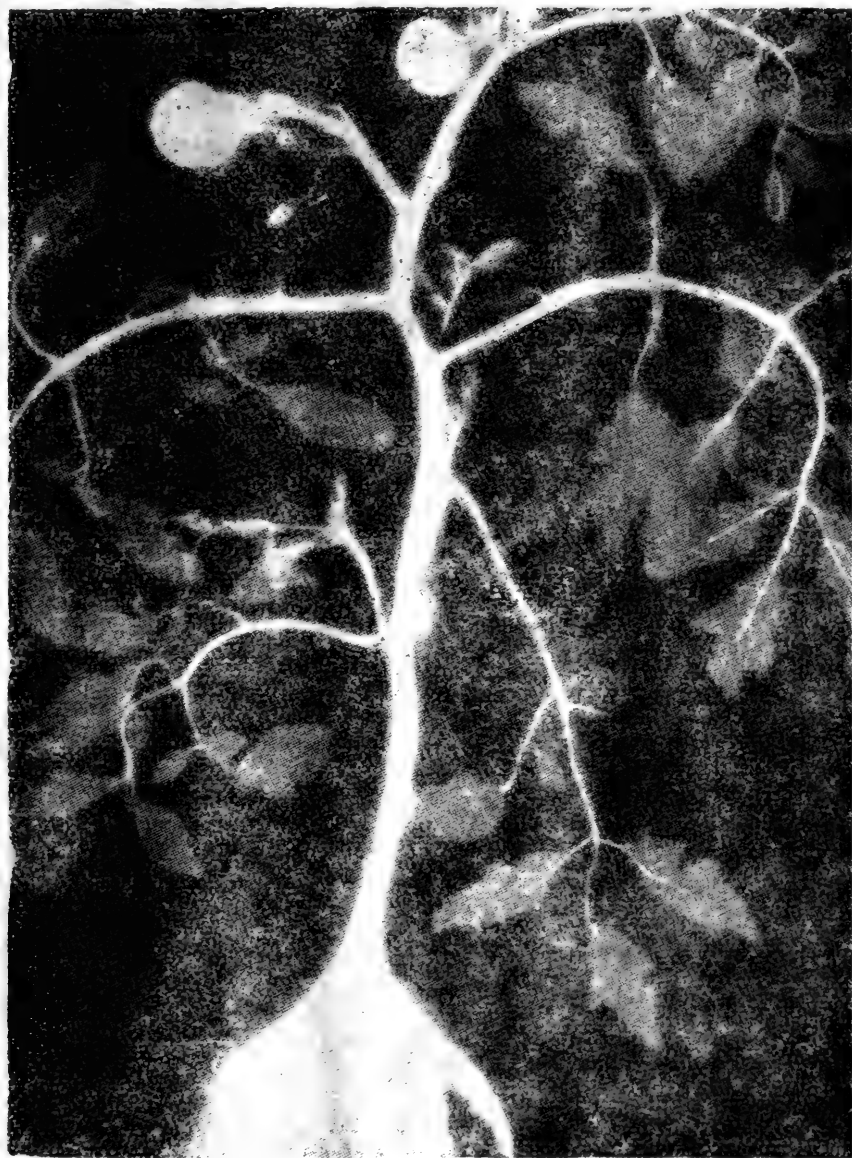


圖30 番茄的放射性照片(原圖)
在結實期,鐳液聚在果實內

所有植物的根含鐳都很多，以致在这种曝光的情况下，各細微部分都是无法分清的。化学分析表明，根中大約含有 30—40 倍于植物各地上器官的鐳。

图 29 所示是一棵花蕾旺盛形成期及开花初期的三叶草。为了更加明显起见，我們把植株上部和下部各器官这一时期的鐳的分布状况影射在同一感光板上。在照片的中間可以很清楚地看到植株下部和根的图象，而在兩側則是有花序形成的植株上部各器官的图象。在番茄的放射性照片上也可以看到类似的現象（图 30）。

这些試驗很清楚地說明了，鐳与氢、碳、氧、氮等等輕化学元素比較起来，虽然有相当大的原子量（226.05）却能在植物体内按其生物学特性自由地轉移和分布。鐳往往浓集于进行着最重要的生活过程的部位，即生长点和結实器官中。

放射性元素对土壤微生物的影响

土壤中定居着无可計数的、肉眼看不到的生物——微生物。为了生存，它們同样也需要为植物和动物所必需的几乎全部各种营养元素。

这些就大小說来微不足道的有机体在謀取食物的过程中却进行着巨大的工作。

微生物在生命活动的过程中能使土壤中复杂的有机和无机物質的組成成分发生深刻的变化，从而提高土壤的肥力。

研究鈾和鐳对土壤微生物区系的影响的試驗是在放射性发现以后不久就开始进行的。

斯托克拉查(1932)曾进行过研究鐳射气和鈾对固氮細菌发育的強度及其固氮能力的提高这两方面的影响的一些試驗。他的試驗产生了肯定的結果。

E. A. 施且恩(1937)发现，在鐳射气的影响下固氮細菌的本性可以有明显的改变。还获得了一些以有更大固氮能力为其特点的新的新种。生长迟緩的固氮菌培养物在氢的作用下，加速了发

育而且提高了固定大气氮的能力。

T. A. 納得森 (Надсон 1920, 1937) 和他的同事們曾詳細地研究,在鐳和氡的輻射綫的作用下,酵母、真菌和細菌的細胞中的某些生物学过程。还发现了酵母、真菌及植物細胞的原生質体中的結構变化。例如,酵母的細胞在用高剂量的氡照射时,液泡首先发生反应,开始运动并且改变着外形。后来这一运动很快就終止了,原生質被弄得混浊不清,而且变成小顆粒状,此后在其中还会有油滴出現。这时,原生質将变成粗大的粒状,細胞因即死亡。細胞核及原生質都会发生明显的变化。

H. A. 克拉西尔尼柯夫 (Красильников, 1938) 曾研究氡对放綫虫类真菌及与之相近的各种微生物的作用,目的是要确定个别种的比敏感性(сравнительная чувствительность)。在这些試驗中发现了不同种的放綫菌对同一浓度的氡具有不同的感受性。

我們在 1945 年的研究工作中发现,在清除了放射性元素而且也未补施少量的鐳,鈾和釷的培养基中,尽管已用根瘤菌接种而且存在着具有天然放射性的鉀,但是豆科植物的根部并无根瘤形成,而且自空气中吸收分子氮的現象也不会发生。

促使我們对这个問題进行研究的是下面一个事实。

在我們 1941 年用豌豆所作的試驗中,发现只有在有鐳的盆鉢中发育起来的植株的根部有根瘤形成;而对照盆鉢(无鐳的)中就没有根瘤形成。因为我們并未用根瘤細菌接种,所以根瘤細菌显然是和种子一起潛入的。

只是到了 1944 年,布置了用“卡尔利克”(Карлик)品种豌豆进行的試驗以后,才特別詳細地研究了这个問題。在盛有 6 升蒸餾水的盆鉢中施入了完全营养液,并补充了硼和錳。試驗中我們应用的是精細地清除了放射性元素的化学試剂。普通的完全营养液用作为試驗对照。試驗重复了 4 次。7 月 3 日,于每一盆鉢中各栽植了 12 个已事先使之萌发的豌豆种子。7 月 4 日我們往盆鉢中施入了和 1941 年所应用的相同浓度的鐳,即 $6 \cdot 10^{-12}$ 、 $6 \cdot 10^{-10}$ %。

在 7 月 5 日,我們用根瘤細菌的純粹培养給培养基接种,这些

根瘤菌以惊人的速度在以有放射性元素的营养液生长的植株的根上开始发育起来。第 5 天,肉眼即可看到根瘤,而过 20 天以后,就已有大量的根瘤形成。在无放射性元素的对照盆钵中,一直到营养生长期末也未形成根瘤。根瘤的发育如图 31 所示。

試驗結果以本身的有效性使我們回忆起以前我們用豌豆所作

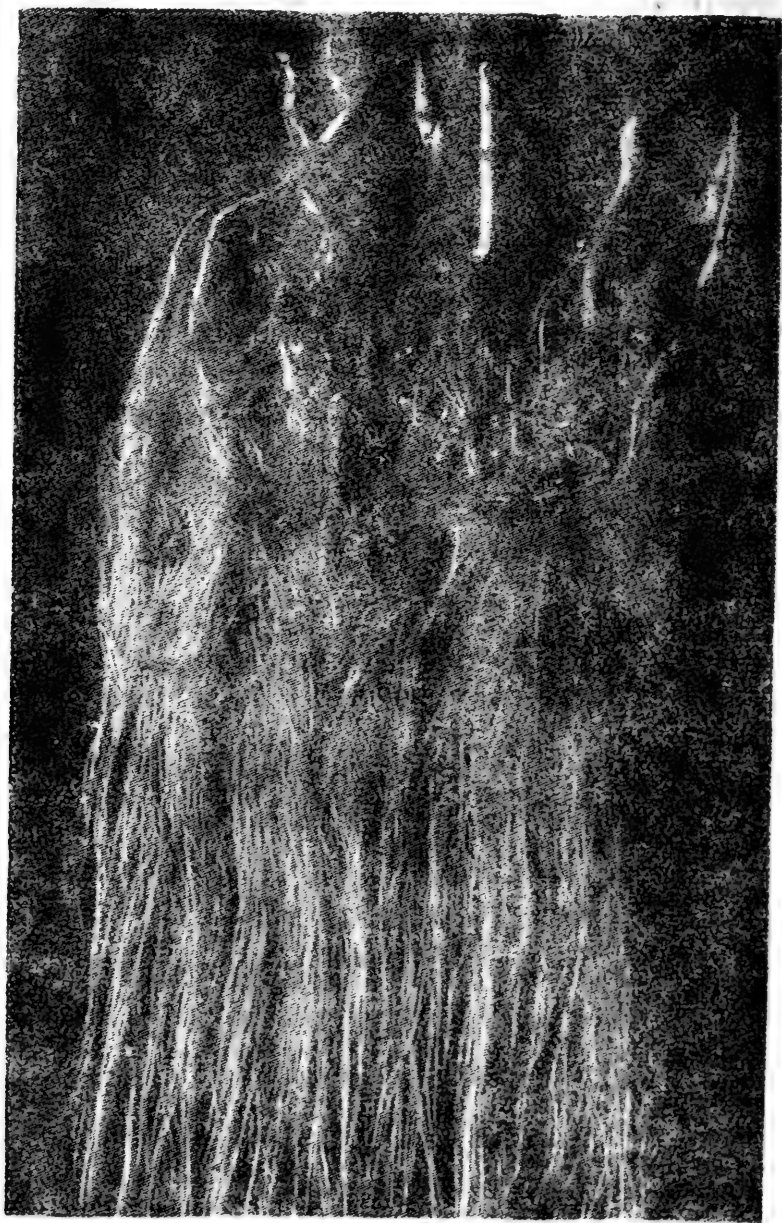


图 31 鐳对水耕培养的豌豆根部根瘤形成的影响
有鐳的盆钵中的根



图 31(續) 无鐳的对照植株的根

的試驗，并且又一次証明了，放射性元素对植物的发育确有极好的作用。在对照盆钵中，风干的植株地上器官的平均重量是每盆 14.9 克，种子重是 6 克，根重是 1.52 克。对照植株的根虽然用根瘤細菌接种了培养基，却根本没有根瘤形成。可是由于在基本营养液中补充施用了 $10^{-12}\%$ 的鐳，植株地上器官的重量增加到每盆 20.01 克，或增加了 35.5%，种子重增加到 9.5 克，或 58.2%，而根的重量則增加到 2.06 克，或 36.5%。在植株根部形成的根瘤的数量，每盆达 2.2 克。

鐳的浓度增大 10 倍即 $10^{-11}\%$ ，并未能提高植株地上器官的产

量和根的重量(与前一剂量相較)。然而种子的数量和根瘤的重量却有了显著的增加。鐳的剂量增大 100 倍即 $10^{-10}\%$ ，甚至还使产量多少降低了一些，而且根瘤的重量也有所减少。

在这些試驗中我們觉得重要的是，不只弄清了鐳对植物产量的影响，而且还查明了根瘤菌吸收大气氮的能力与放射性元素的关系。我們抱着这样的目的测定了植株各地上器官、种子和根中的氮素含量，也計算了殘留在营养液中的未被利用的氮的数量。在有放射性元素的盆钵中发育起来的植株各地上器官、种子和根中都含有相当丰富的氮素，这是很引人注意的：在对照盆钵中，植株的莖换算成干重时含氮 0.78%*、种子——含氮 2.64%、根——含氮 2.07%。由于施用了浓度为 $10^{-12}\%$ 的鐳，莖中氮的数量增加到 1.17%；鐳的浓度加大 10 倍时，莖中氮素含量增加到 1.27%；而最高剂量的鐳即 $10^{-10}\%$ 竟将氮的含量增加到 1.42% (表 40)。

表 40 植物体中已被利用的氮的含量及营养液中氮的剩餘

培养基中 鐳的含量 %	氮 素 含 量 %			氮素含量克/盆			营养液中 未被利用 的殘余氮 素 克/盆	氮素平衡		氮素增 加 %
	莖	种子	根	莖	种子	根		施入的 克/盆	氮素含 量%	
对 照	0.73*	2.64	2.07	0.11	0.16	0.03	0.062	0.36	0.36	100
$10^{-12}\%$	1.17	3.62	2.56	0.23	0.34	0.05	0.07	0.36	0.69	191.8
$10^{-11}\%$	1.27	3.24	2.69	0.25	0.32	0.05	0.08	0.36	0.7	194.2
$10^{-10}\%$	1.42	3.67	2.17	0.28	0.32	0.04	0.07	0.36	0.71	197

种子中的氮素含量由于施用了最低剂量的鐳而提高到 3.62%。在营养液中繼續加大鐳的剂量，对植株的种子和根中的氮素含量与前一剂量相較，影响不大。

知道植株个别器官中的氮素含量和它們的重量，也知道施于营养液中的和殘留的未被植物利用的氮的数量，我們就可以很容易地計算出根瘤細菌在放射性元素的影响下从大气中所吸收的氮的数量。这些結果也均已列入表 40 中，从表中可以看出，在有放

* 此含氮量%与表 40 中莖的氮素含量%不符，恐系原书之誤。——譯者

放射性元素的盆鉢中发育起来的植株的种子及各地上器官中的含氮量比对照盆鉢中的植株多一倍。它們的根也富含氮素。这些結果也可以决定最終的氮素平衡。在对照盆鉢中,氮素沒有增加,因为这些盆鉢中的植株的根上沒有根瘤。对照盆鉢中均各施入了 0.36 克的氮。在植物体和培养基中也含有这么多的氮素。

鐳的浓度为 $10^{-12}\%$ 的盆鉢中也施用了同等数量的硝酸鈣态氮(0.36 克),植物体也含有 0.6% 克的氮,也就是說,由于根瘤細菌自空气中吸收了氮而使氮的数量增加了 0.33 克,相当于所施氮素的 91.8%。

鐳的浓度增大到 10 倍及 100 倍,与最低浓度相比較,氮素含量只有少許增加。

因此,对植物及根瘤細菌的发育来講,营养液中 $10^{-12}\%$ 的浓度應該看作是鐳的最适宜的剂量。不过,如試驗所表明,浓度增大 10 倍、以至 100 倍时,植物也能很好地忍受,从实用的观点来看,这是很重要的。

在这些試驗中,我們注意到了下面一个重要的事实:与我們以前所作的一些試驗相反,在有放射性元素的盆鉢中,根部有根瘤細菌的植株,并未发现有加快成熟的現象。对这一疑問,在我們用糖用甜菜所作的另一試驗中找到了解释。这一試驗証明了,在有放射性元素的盆鉢中发育起来的植株,特別是在开始阶段,生长和生物学过程进行得都比較猛烈,而这样就大大提高了植物体对其它种营养元素,尤其是氮素的需要。如果在这些盆鉢中不补充氮,那么植株的最发育的側叶就会开始变黄和逐漸衰亡。換句話說,在这种情况下就会发生人为的加速植物成熟。

但是土壤中所含有的不只是鐳,其中也还有鈾、釷、射釷等等。其它种放射性元素对根瘤細菌究竟有怎样的影响呢?为了弄清这个問題,我們进行了一些專門的試驗。

植株的幼苗是在 7 月 4 日移栽于盆鉢中的,每盆容量为 6 升,各栽种了 6 棵植株。在 7 月 5 日用取自农业微生物研究所的根瘤細菌的純粹培养接种了所有的根。在含硼和錳的完全营养液中施

入了以下数量的放射性元素：鐳 $10^{-12}\%$ 、鈾 $10^{-6}\%$ 、釷 $10^{-6}\%$ 及射釷 $10^{-12}\%$ （換算為鐳）。

試驗重復了 6 次。植株是在 8 月 25 日收获的。

各种放射性元素对植物的产量和根部根瘤的形成都发生了良好的作用。个别放射性元素产生了相似的生物学作用这一点也是很有趣的。在有放射性元素的盆钵中发育起来的植物体中，氮的含量的提高是由于根瘤中含氮量增加的结果。

在我們和 H. A. 克拉西尔尼柯夫共同进行的为期数年的盆栽試驗和田間試驗中以及實驗室的研究中，曾探討小剂量的天然放射性元素对植物的发育，豆科植物根部根瘤形成的强度、大气氮的吸收的影响，以及对根瘤細菌和固氮細菌的純粹培养的发育的影响。参加这一工作的还有 O. Г. 西罗柯夫（Широков）、Н. И. 舍維雅柯娃和 T. B. 雅克福列娃。

在砂基培养和土壤培养的条件下用非純化的培养基所作的盆栽試驗中，証明了豌豆在生长的第一阶段在有各种放射性元素的、施用量为鐳 $10^{-11}\%$ 、鈾和釷 $10^{-5}\%$ 的盆钵中有更好的发育。在开始开花以前，放射性元素的效力便逐漸和緩，但在豌豆根部所形成的根瘤的数量比对照植株还是多的。这些植株的各个营养器官和种子均多含 60—70% 的氮。因此，弄清低浓度的鐳、鈾和釷三种天然放射性元素对根瘤細菌和固氮細菌的純粹培养的发育有怎样的影响是很重要的。

为了极精确地闡明現代輻射生物学的有关低浓度放射性元素对固氮細菌及根瘤菌的发育的刺激作用这一最重要的問題，我們采用了放置一些放射性元素盐类晶体的方法。在我們的試驗中所采取的是如下的方式：把愛什比琼脂培养基（агаризованная среда Эшби）或豆类的煎剂（бобовый отвар）注入培养皿內，并用玻璃紙（целлофан）复盖，在玻璃紙上均匀地撒播一些固氮細菌和根瘤菌的純粹培养。

在培养皿的中央放一些恰好能明显地抑制微生物生命活动那种浓度的放射性物質。

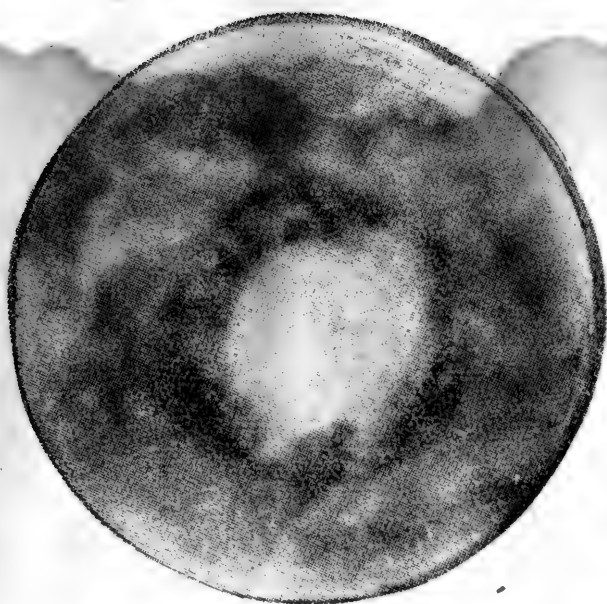


图 32 鈾对于固氮細菌发育的影响
培养皿中央放有鈾,是无生长区;无生长区的外层,在低浓度鈾的影响下有最旺盛的生长,被染成暗色是由于固氮細菌的強烈的色素沉着所致

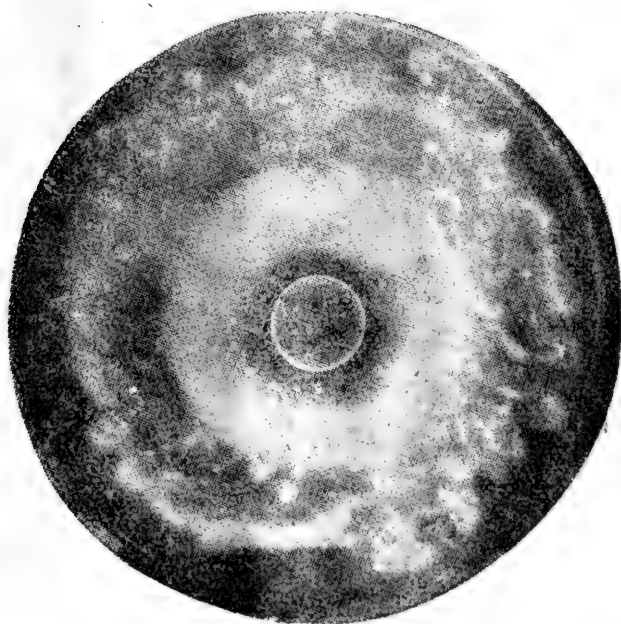


图 33 鈾对于根瘤菌发育的影响

我們在自己的試驗中使用的是鈾和鈾的純硝酸鹽，用量為 0.003—0.01 克。作這樣的試驗通常我們都是取用一塊不大的晶体，在分析天平上預先準確地稱量過以後，放在培養皿中央的培養基的表面。試驗是在嚴密地保持無菌的條件下進行的。過一些時候晶体即行溶解，并向周圍培養基浸潤一定的距離。

把培養皿放入溫度為 28—30° 的定溫箱內，一直到出現有極多的培養物時為止，然後在低倍顯微鏡(120 倍)下檢驗培養皿。

接種培養物以後，過幾天就可以看到固氮細菌和根瘤菌的幾個明顯的生長區(зона роста) (圖 32 和 33)。

第一生長區是在放射性物質的周圍，固氮細菌和根瘤菌在這裡完全不能生長。這是一個無生長區或稱為死區(зона смерти)。

用顯微鏡檢驗時，在這一區內只能看到個別嚴重變形的、儼如被噬壞的固氮細菌和根瘤菌的細胞。

在低倍顯微鏡下的檢查証明了，在無生長區被保存下來的只有接種材料的細胞。死區的半徑為 0.5—1 厘米，依晶体的大小為轉移。

其次是固氮細菌和根瘤菌的生長受到強烈壓抑的生長區。在和死區交界處，看不到微生物有明顯的生長。看到的只是個別極微小的微生物羣落。

離死區漸遠，固氮細菌和根瘤菌的生長即漸趨旺盛，而且菌落也變得肉眼可見。然而生長仍然是受到壓抑的。沒有粘液形成及色素沉着的現象。微生物菌落形似皮革狀膜，細胞極度破碎。

在這一區的外層是培養物的生長刺激區，明顯的區別是：固氮細菌和根瘤菌有比較旺盛的生長、有較多的粘液形成、而且固氮細菌有很明顯的色素沉着。此區內的細胞，形狀和大小都是正常的。

在低濃度放射性元素的作用所引致的刺激區的外層是正常生長區，其中固氮細菌和根瘤菌的生長不象在刺激區那麼旺盛。

按以上所指出的方法所進行的試驗，使我們得以比較精確和比較顯明地確定了低濃度放射性元素對固氮細菌和根瘤菌的生長

的加快有肯定的作用。

应当指出,根瘤菌和固氮細菌对同一浓度的鈾和鈾,反应是不相同的。

于培养基中施用低浓度的放射性元素时,固氮細菌的固氮能力会有显著的提高。

我們在进一步的研究中抱定了一个目的,就是要明确鈾和鈾对固氮細菌和根瘤菌的发育究竟有怎样的作用:只是以自身的輻射綫发生作用,还是在細胞中积累的同时既以自身的化学性質又以放射性射綫发生作用?

为了研究这个問題,我們把上面清楚地显示着固氮細菌和根瘤菌的刺激区的玻璃紙从培养基的表面取下,并且小心地在 96 度酒精中进行 15 分鐘的固定,随即在 70° 的温度下使干。然后,在黑暗中将玻璃紙紧貼在 X 光胶片上作一定時間的曝光。

图 34 的放射性照片所示就是这些試驗的結果。在放射性照片的中央有一个明亮的、最为鮮明的斑点,相应于起初放有鈾的硝酸盐的晶体的部位,即死区。其次是无生长区。无生长区的外层則是最清晰地显示出固氮菌的生长的刺激作用的較明亮区。如在放射性照片上所看到的,微生物在此区积累的鈾最多。換言之,旺盛生长中的固氮細菌将放射性元素聚集在本身的細胞中,并将这些放射性元素从中央向外围調动。

我們在另一些試驗中研究了不同微生物菌种在本身細胞中从培养基聚集天然及人造放射性元素的比选择能力。为此項試驗我們所采用的是:不同菌系的固氮細菌,豌豆、三叶草及苜蓿的根瘤菌和其它种微生物。

在查彼克培养基(Питательная среда Чапека)中施入了一定浓度的鐳、鈾、鈾等各种放射性元素,然后进行培养基的消毒。作为試驗对照的是无放射性元素的普通查彼克培养基。将无菌培养基注入于培养皿內,凝結以后把无菌的玻璃紙片紧貼在它的表面,然后将各种細菌的涂片用夹子放在干燥的表面之上。接种以后,将培养皿置于定温箱內不同的時間,以使培养菌生长。經過一

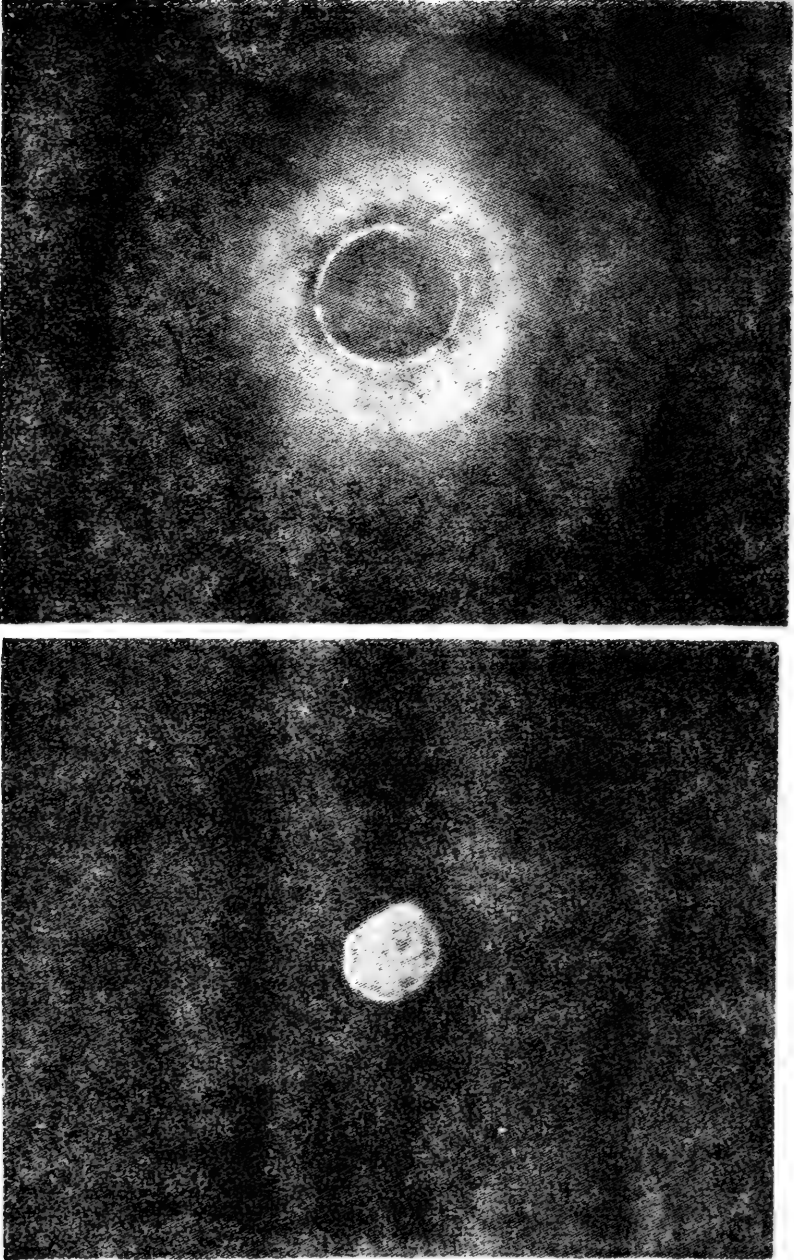


图 34 靠固氮細菌所吸收的鈾的輻射所取得的放射性照片
上:在固氮細菌較旺盛的生长区有鈾的积累,
自中心向边缘方向愈远愈多
下:对照

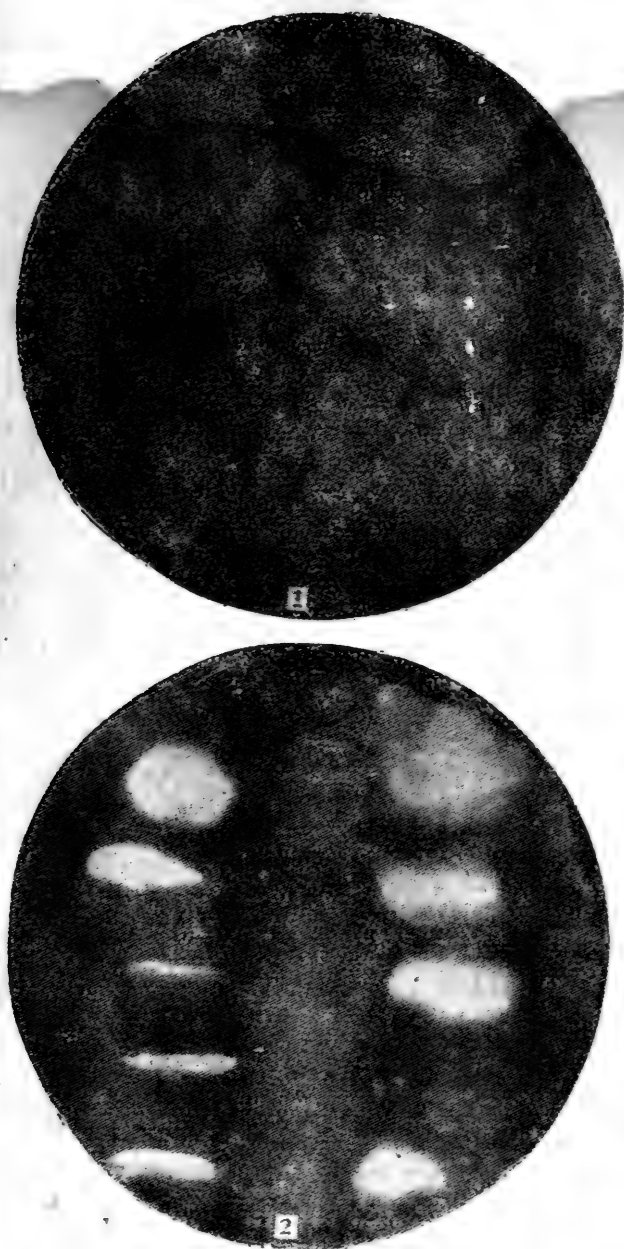


图 35 微生物的放射性照片

1——自未施镭的对照培养皿所取得的微生物划线的放射性照片。在同样的曝光下这里没有得到划线图象；

2——靠施于培养皿中的镭的辐射所取得的不同微生物菌种的划线的放射性照片。放射性照片上各种菌系的固氮菌划线最为清晰(上)。下面是根瘤菌及其它种微生物的划线。

定時間以后，將玻璃紙片從培養皿取下，小心地在 96 度酒精中固定 15 分鐘，並且在烘箱內在 $+70^{\circ}$ 的溫度下進行干燥。

然後，用放射性攝影法研究各種微生物在本身細胞中濃集放射性元素的比選擇能力。

在補充了 $10^{-8}\%$ 或 10^{-8} 居里/100 克的鐳以後，得到了固氮細菌 *Azotobacter* № 54 和 *Az. golophilum* 的鮮明的、很好看的劃綫 (Штрих) (圖 35)。已經查明，固氮細菌的其餘兩個菌種、根瘤菌及其它種微生物的吸收能力都較差。用鈾和釷所作的試驗也得到了類似的結果。

1955 年在查什尼柯沃的國立莫斯科大學生物學試驗站所進行的田間試驗中發現，于土壤中施用極低濃度的放射性元素時，能顯著加強羽扇豆和豌豆根際範圍內的微生物的發育 (圖 36)、提高根部根瘤形成的強度 (表 41) (圖 37)、以及增加這些植株的營養器官及種子中的氮素含量。

表 41 播種前用 $10^{-4}\%$ 鈾和釷的溶液處理種子對豌豆根部根瘤形成的影響 (試驗重複 6 次)

試 驗 處 理	品 種			
	“熱加洛瓦”	“海 鷗”	“熱加洛瓦”	“海 鷗”
	8/VII 1955 年統計		9/VIII 1955 年統計	
對 照	36	62	55	95
鈾	54	121	78	121
鈾	46	177	82	258

圖 38 的放射性照片所示，系于培養基中施鈾時菜豆各器官中鈾的分布狀況。可以很清楚地看到，鈾多半被分散在菜豆根部的根瘤所吸收。

從我們所談到的這些資料，可以得出結論，鐳、鈾和釷這几种天然放射性元素在土壤微生物的生活中起着重要的作用。于人造營養液中或土壤中施入低濃度的放射性元素時，可以顯著提高土壤微生物發育的強度，以及加強根瘤菌和固氮細菌的固定大氣氮



图 36 鈾对于羽扇豆根际范围内的各种
微生物的发育强度的影响

- 1——植株的种子在播种前曾用含 $10^{-4}\%$ 鈾的
溶液(稀释 1:10000; 查彼克培养基)处理;
2——对照植株,播种前是用水处理的

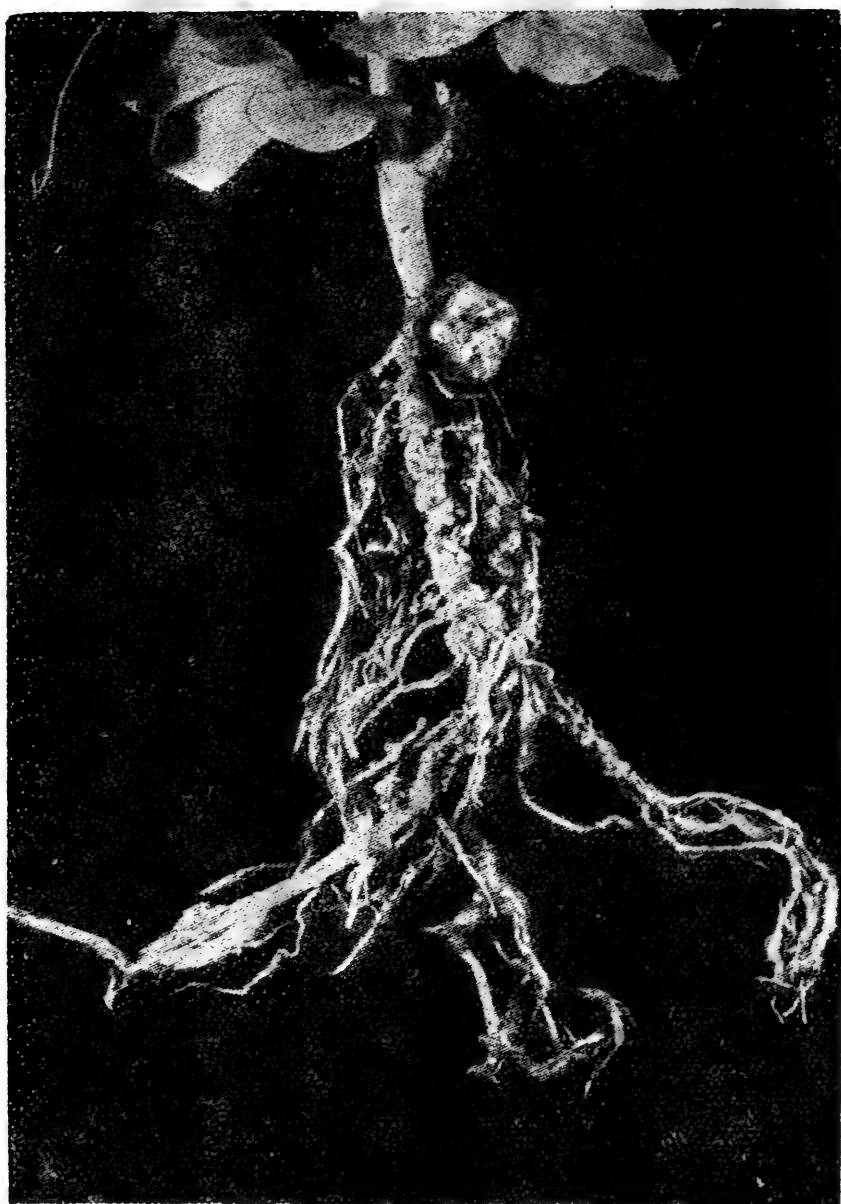


图 37 1 鈾对豌豆根部根瘤形成强度的影响
豌豆种子在播种前曾用含 $10^{-4}\%$ 鈾的溶液处理

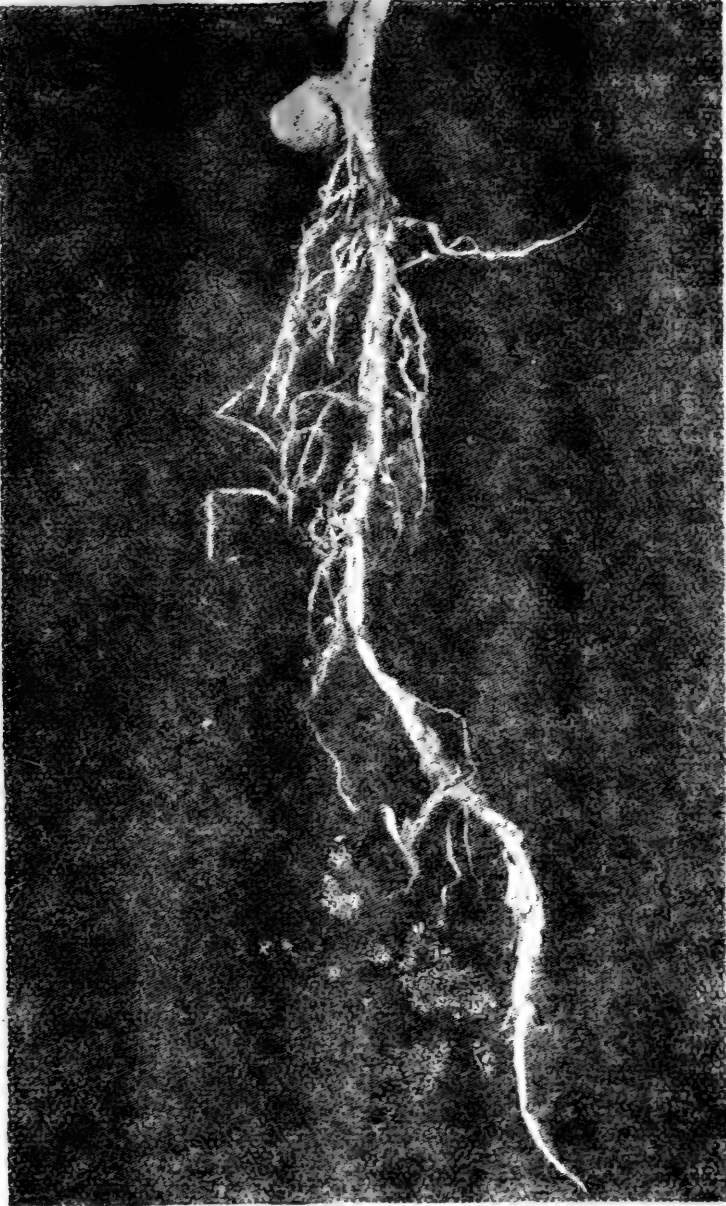


图 37 2 对照植株,种子是用水处理的

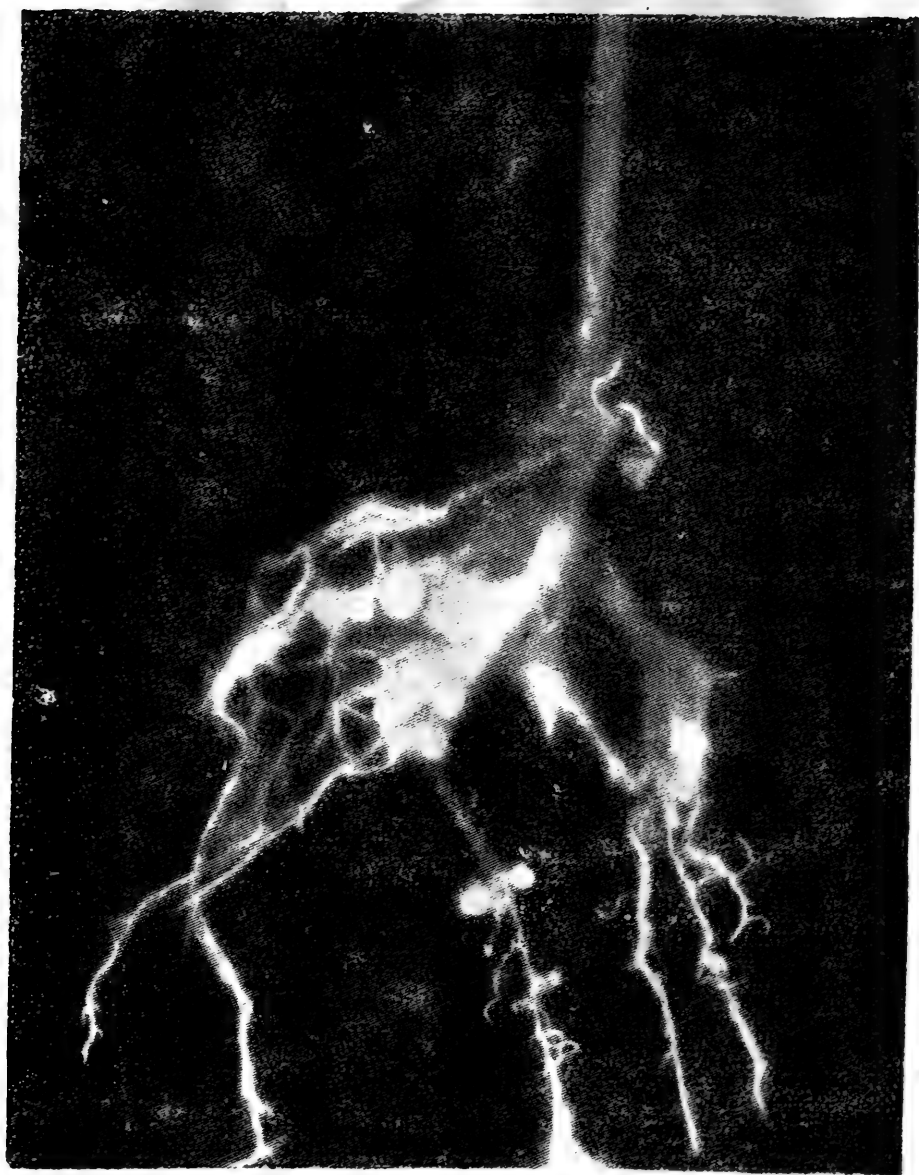


图 38 菜豆根系的放射性照片
施入于培养基中的钍多半被根瘤菌所浓集起来

的能力。

这方面的研究为无害于植物和动物的低浓度放射性元素的利用开辟了广阔的前途,从实用的目的来讲,对豆菽类作物及固氮细菌以化合氮丰富土壤的能力的提高则打开了广泛的远景。

天然放射性元素在人和动物的生活中的作用

如前面所指出,在人和动物的有机体中是经常含有极少量的铀、镭、钍等天然放射性元素的。人和动物主要是通过植物性食物及饮水来摄取这些物质。

甘恩(Канн, 1911)在研究人体不同器官的灰分的放射性时发现,脑的灰分拥有较高的放射性。霍夫曼(1943)发现,人体不同器官中铀的含量是不相同的。肌肉组织含有 $1 \cdot 10^{-9}\%$ 的铀,血液中铀的含量大约为肌肉组织中的 10 倍,而肾脏的含铀量则达 $1.37 \cdot 10^{-6}\%$,也就是说 100 倍于肌肉组织中的含量,10 倍于血液中的含量。肝、脾、胰腺及卵巢均含有 $10^{-5}—10^{-6}\%$ 的铀。

目前还没有有关镭的含量的精确资料。根据现有资料,在人和动物的机体中,镭的含量大约是 $10^{-12}\%$ 。

天然放射性元素在人和动物的生活中起着怎样的作用,这个问题还缺乏充分的研究。现有的资料多数都是有关高剂量放射性元素的影响方面的。高剂量对组织照例都有压抑和破坏作用,而且能引起射线病。

既然对每一种元素来说都有它的最适剂量,因此就可以推想,人和动物机体的正常发育所需要的天然放射性元素的数量是极为微少的。看来,最适剂量和植物所需要的相差不多,不过这一问题尚需进行较全面的研究。

据此,某些学者的有关铀和镭属于对人和动物极有毒性的元素之类的说法应当认定是不正确的。例如,П. 翰(Xан)在他的“同位素的标准及医疗应用”一篇文章中写道:“大家知道,有较长半衰期的物质(例如镭)偶然落入于消化道内,就可能引起肉瘤的发展……可惜的是, α 粒子的来源大多均属于就本身性质来讲与铀族

的极毒元素很相近的最重元素之类。”¹⁾

我們知道，大量的、超过一定最适度的任何一种元素——碳、氢、氧、氮、磷、硫、鈣、鎂等——对有机体都是有害的。可是在营养环境中如缺乏某种营养元素时，也会出现特殊的疾病。

在包括地壳、土壤、有机体等在內的全部天体中，天然放射性元素和稳定的同位素一样，是經常存在着的。因此，說它們有某些特殊的毒性是沒有根据的。利用天然放射性元素于医疗目的的嘗試，在发现了放射性以后不久即已开始进行。

在我們的一些疗养地的天然放射性水中就含有极少量的放射性元素氡，現在这种天然放射性水在医学中已广泛地应用于治疗运动器官功能受到破坏的(有关节、骨骼、肌肉病变的)、中枢和外围神經系統得病的、代謝过程有各种破坏的、有腸胃管道疾病的和心脏脉管系統罹病的病人，以及皮肤病患者等²⁾。

这种水一般作放射性浴使用，而很少用作飲水。在射气室(эманатория)中，供吸入用的放射性气体，一般使用鐳射气。我們的一些疗养地如五峯山(Пятигорск)和茨哈尔图博(Цхалтубо)的含有很低浓度放射性元素的天然放射性水，往往能产生良好的医疗效果。

В. И. 苏哈列夫(Сухарев)在 1954 年曾进行过小剂量放射性元素对生物体的影响方面的有趣的研究。作者将干飼料飽和以鐳射气，而后用以飼喂家畜和家禽。在 1 个月的期間內，喂飼了 500 克飽和了鐳射气的飼料(約含 10^{-7} 居里)，結果发育孱弱的雞的体重有了明显的增加，病死的現象也大为減少。

在用仔猪所进行的試驗中也获得了类似的結果。

此外，В. И. 苏哈列夫在專門委員會的觀察下，就飽和了射气

1) “放射性同位素的医疗应用”(Терапевтическое применение радиоактивных изотопов)，莫斯科外文出版社，1952 年，51 頁。

2) С. Н. 摩尔查諾夫(Молчанов):“五峯山的氡浴”(Радоновые ванны Пятигорска)，五峯山，1953。

А. А. 罗津斯基(Люзинский):“氡水及其医用方法”(Радоновые воды и методика их лечебного применения)，医学出版社，1956。

的干酵母、乳粉和蛋粉对食物消化力降低及处于人工哺乳下的小儿的疗效方面的試驗，进行了临床观察。試驗得到了肯定的結果。

然而，有关研究极低浓度的天然放射性元素在人的生活中的作用和意义方面的試驗性資料，目前还是很不够的。

关于对有机体有益和有害的放射性元素的劑量

在生物学中無論抱着怎样的目的来应用放射性元素，都必须施用不会带来危害的那样小的剂量。只有这样，放射性才不致破坏生理过程的正常进行。

因此在利用放射性元素作为超微量元素或以医疗目的而施于机体之内或作为示踪原子时，不只是元素的质量，而且該元素的放射性，即 α 、 β 和 γ 射线的作用，都是必须考虑到的。

前已指出，包括土壤、植物、动物和人的机体在内的周围环境中的天然放射性就是生物学上的一个标准量，显然这个标准量可以作为决定甚至在长期作用下也没有危害的剂量的基准。

天然放射性元素也和其它大量及微量元素一样，有其最适的，也就是說有益的和有毒的或有害的剂量。

在最适剂量的范围内，沒有理由把鐳、鈾、釷或其它种天然放射性元素算作有毒的物质。相反，在营养液及有机体中显著缺乏这些种元素时，还可能发生人所共知的，与缺少其它种微量元素时类似的一些特殊疾病。但是对这一问题研究得还很不够。

大大超过最适浓度的高剂量的天然及人造放射性元素对有机体是有害的。它們的辐射线对健康的器官和组织有破坏性作用，能引起射线病。

这些种疾病可能表现为极不相同的形式，出现于不同的时期。一方面与剂量有关，另一方面則依有机体对頗强的致电离射线的作用的抵抗力为轉移。

在医学中，高浓度的天然及人造放射性物质的致电离射线用于医疗恶性肿瘤，可是这样的剂量照例都会引起射线病，因为，想使射线只破坏有病的細胞而无伤于健康的組織是极为困难的。

放射性元素的怎样的剂量对有机体才是有害的呢？这要从整体条件来看，包括生物体的种和生长龄，食物成分，放射线的种类和能量等等。

不过，根据现有的试验资料是可以确定出放射性元素有害剂量的一个大致的水平的，这个水平以上的剂量能在某种程度上破坏生理过程的进行，因此是不应施于有机体之内的。

根据我们的试验资料，营养液中对植物有害的剂量是：镭——每百克 10^{-6} — 10^{-7} 居里，铀和钍—— 10^{-2} — $10^{-3}\%$ 。

对蔷薇来说，这个剂量会引起生长点和结实器官的衰亡(图 39)。对其它种植物的有害作用则可能表现为其它种形式。对豌豆及糖用甜菜而言，这样的剂量，毒性就较小。

每 100 克 10^{-6} 居里或更多的镭以及其它种放射性元素， $10^{-3}\%$ 以上的铀和钍，这样的较高剂量在施入于有机体之内时，是会给有机体带来危害的。较高剂量只能应用于特殊目的，而且要非常谨慎。这样的剂量还不致引起外部的明显的变化，可是在长时期作用下，往往使最敏感的器官发生病变，从而削弱有机体。

前已指出，放射性射线的不良作用并不是立即显现出来的，而是要经过一定的时期，而且很可能还是很长的时期。因此在使用高剂量放射性元素时必须格外小心。

使用高放射性时所获得的结果，所能说明的将不是生理过程，而是在有机体内部进行着的病理过程。

因为这个缘故，于有机体内施用放射性元素时，小剂量、提高剂量和高剂量这三种剂量的概念必须严格地加以确定。据我们看来，在天然放射性的范围之内的那样的剂量应当认为是小剂量或无害剂量。所谓提高剂量将是浓度大大超过天然放射性，然而还不致引起明显的射线伤害的剂量。不是特别需要，是不应该于有机体内施用这样的剂量的。这种剂量大约是每 100 克重组织 10^{-3} — 10^{-7} 居里。

每 100 克组织 10^{-6} 居里或 10^{-6} 居里以上的放射性应视为高剂量或有害剂量。

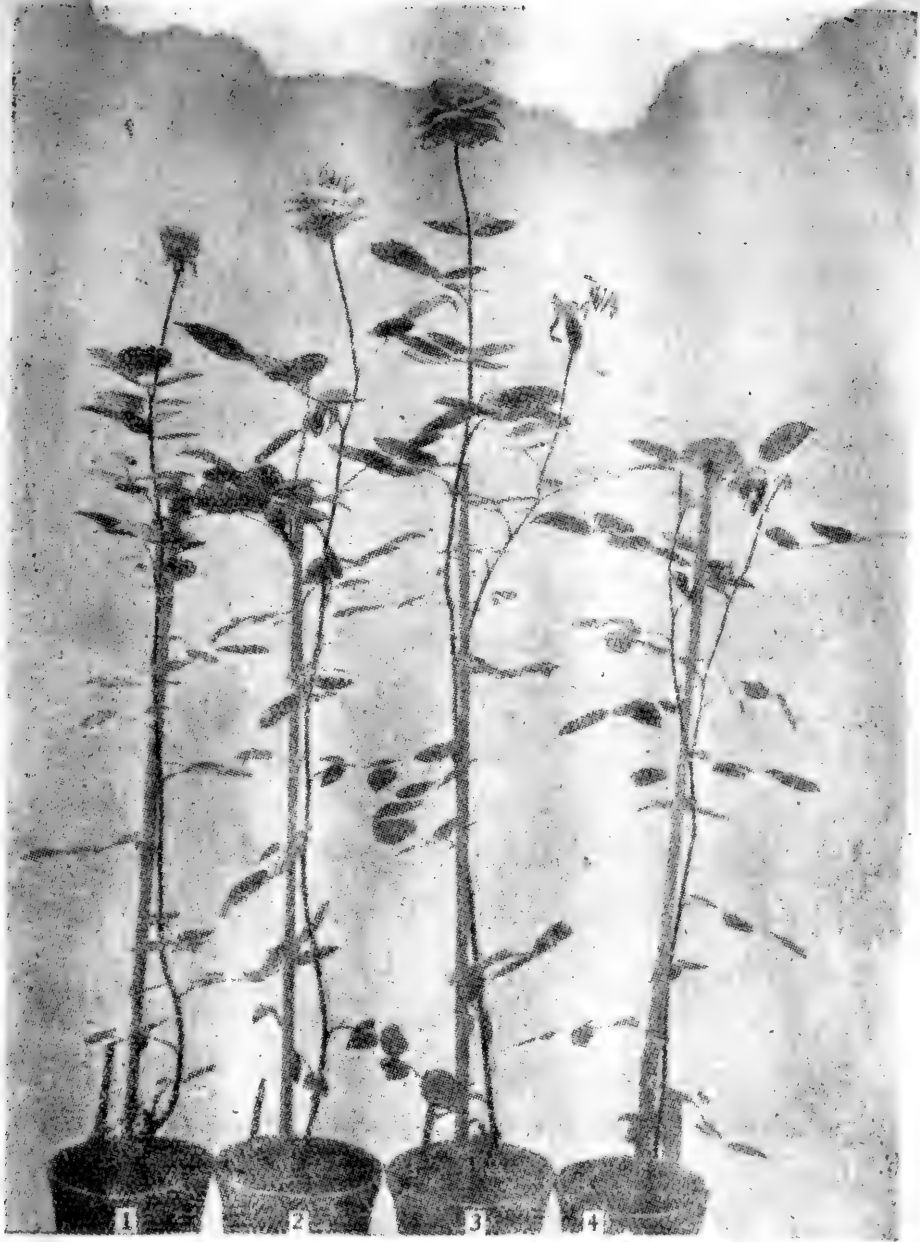


图 39 不同剂量的镉对蔷薇发育的影响(土壤培养)

- 1 对照;
- 2 每公斤土壤施入了 10^{-9} 克的镉;
- 3 每公斤土壤施入了 10^{-8} 克的镉;
- 4 每公斤土壤施入了 10^{-7} 克的镉

但是這個問題還不能認為已經得到了徹底的解決，在進一步的探討中還是要精細地加以研究的。

考慮到在第六個五年計劃中和平利用原子能的相當大的擴展，特別是在農業和醫學中利用放射性元素工作的開展，所以對上一問題進行研究是很必要的。

土壤、大氣和天然水都可能被原子武器或氫武器爆炸時或由於原子工業的廢料所形成的放射性物質所污染，同這種現象應當進行堅決而毫不鬆懈的鬥爭。因為這些放射性物質最終必將落到植物體、人和動物有機體之內。

B. H. 威爾納茨基(1955)在談到自然界中天然放射性元素的濃度及疏散狀態時寫道，疏散狀態是重放射性元素在自然界中的最特殊的存在形式。計算表明，放射性元素的明顯的濃集將會是周圍環境中巨大變化的中心，將會破壞一切物質的穩定和平衡。多虧放射性元素的疏散狀態，它們的可能的破壞性作用才得以消失。

在農業中利用放射性元素作為超微量元素的前景及某些方法上的指導

在最近的將來放射性元素能不能作為超微量放射性元素在農業中得到實際的應用呢？

對這一問題是可以肯定地回答的。

特別有前途的是將放射性元素應用於增大糖用甜菜的根的含糖量，蔬菜，果樹及其它種作物的含糖量，提高發育強度以及根瘤菌和固氮細菌等的固氮能力。不過，這些問題尚未得到徹底的解決。解決這些問題主要有下面一些困難：

1) 有機體所需要的天然放射性元素的数量極小，這樣小的数量既使用最現代化的方法也很難測量得出。因此很難研究土壤及有機體中放射性元素的缺乏程度。

2) 對積累於依靠以放射性超微量元素肥料栽培起來的植物性食物生活的家畜有機體中的放射性元素的濃度的界限，還缺乏充分的研究，而這方面的研究對於弄清這類食物的不僅無害而且

有益的营养的可能性，特别是用于医疗和预防目的的可能性又是必須的。

3) 放射性元素对植物和动物有机体的肯定和否定作用的准确的界限，尚未完全确定。

4) 有关不同土壤中放射性元素的含量及植物可給态的放射性元素的含量的試驗資料，目前几乎还没有。

5) 对应用放射性元素的剂量、时期和方法与土壤类型、植物的种和品种，同时施用的其它种肥料之间的关系，研究得还很不够。

遺憾的是，探討这些問題的科学研究工作，目前还只是在很不充分的范围内进行。这往往是由于对天然放射性元素在植物、动物和人的生活中所起的重要作用估計不足所致。

在这些問題中还包括很早就存在过的不正确的見解，即认为，由于有机体中所含放射性元素极少，而且它們的放射性也极小，因此它們在有机体中的存在只不过是偶然的現象。

这种观点的錯誤已为研究微量元素和超微量元素在有机体生活中的作用和意义的全部历史所証明。

对土壤和有机体中个别天然放射性元素的缺乏程度以及因缺乏而引起的破坏現象的研究工作，必須予以重視。

对这个問題有了詳尽的科学探討以后，放射性元素在农业中作为微量及超微量元素方面必将覓得广泛的实际的应用。

可惜，要解决有关某种微量元素或天然放射性元素对植物的正常发育的必需性的問題，目前还没有一种可以通用的方法。

为了获得有科学根据的解答就必须同时采用綜合研究方法。

在純培养基的条件下用水耕培养和砂基培养来进行盆栽試驗是能精确地研究超微量元素在植物生活中的作用和意义的几种最通用的方法之一。供此項試驗之用的所有用以在水耕培养和砂基培养中培育植物的营养盐类，包括硝酸鈣、一代磷酸鉀、氯化鉀、硫酸鎂、氯化鉄或檸檬酸鉄、硫酸錳、硼酸等，都应預先用二次及三次再結晶方法純化。

用化学方法純化营养盐类使不含一般作为相伴存在的各种微

量元素，在普通实验室的条件下是很难达成的。这项工作应由纯化学试剂研究所来完成。

试验用水及化学试剂的再结晶用水，都必须使用在石英制蒸馏器内经过二次蒸馏的蒸馏水。玻璃容器、化学器皿及用来进行试验的其它材料，都应仔细清洗并涂以纯洁的石蜡。

这样的环境清除虽然并不能保证可以除尽所有的微量和超微量元素于培养基之外，然而它们的含量将大为减少。植物在这种未补施硼、锰、铜、锌、钼的环境中，生长就会显著迟缓，果实往往也很小。不过在这种条件下，植物毕竟不会因缺乏微量元素而死亡。



图 40 棉花(水耕培养)

1 在有纯化学试剂和蒸馏水而无放射性元素的完全营养液中培育出来的植株 2 同上，有硼

极纯的化学试剂只可能用化学纯净法来制取。用极纯的化学试剂且未施放射性元素及其它种微量元素进行试验时，起初，植物的生长极缓慢，以后便逐渐死亡(图40、41)。

除设法建立纯培养基以外，在应用放射性元素的研究工作中还必须严密地考虑到植物的品种特性及其它特性，以及应用这些元素的形式、剂量、日期和方法等等。否则的话，根据所获得的试验资料，关乎某种元素的作用，就可能作出不正确的结论。从我们



图 41 水耕培养中所培育出的豌豆

- 1 在有純化学試剂的和蒸餾水的完全营养液中的植株
- 2 同上,但化学試剂及蒸餾水皆未純化

所作的有关个别天然放射性元素对不同品种的糖用甜菜及花卉作物的发育的影响的研究结果，可以很清楚地看到这一点（见 107、113—116 页）。

不仅是盆栽试验，而且在田间试验的条件下也可因施用极少量的天然放射性元素而获得良好的结果。

放射性元素的田间试验可以在充分保证氮、磷、钾三种基本营养物质的土壤上进行。在不很肥沃的土壤上，天然放射性元素可能没有良好的作用。在这种土壤上，于播种前必须施入氮、磷、钾肥料作为基肥。

在试验中应严格遵守各种试验处理条件一律平等的规章，例外的只是放射性元素施用的剂量，日期和方法。

试验应在地势平坦且有同等肥力的地段上进行。

试验小区的面积应在 10 平方米以上，并应重复 6 次。小区间的保护带应不少于 1 米。

可能的话，试验小区的面积应增至 50、100、200 平方米或更大。在这种情况下，试验可重复 4 次。

放射性元素或施于土壤中，或作为根外追肥施用，或采用在有放射性物质的溶液中于播种前浸种的方法。后一种方法，效果极好。应用这种方法时，干燥的种子要用一定浓度的放射性元素溶液处理两次。

处理以后，应将种子仔细搅拌。两次处理的时间间隔应在 6 小时以上。

已处理过的种子可以用普通方法在田地里播种。

在用镭进行的试验中，必须从研究每 100 毫升溶液 10^{-11} 、 10^{-9} 、 10^{-3} 的镭（元素）的剂量开始，直接施于土壤中或其它种培养基中以及作根外追肥时则从每 100 克含 10^{-11} 、 10^{-10} 及 10^{-9} 克三种剂量开始¹⁾。

至于铀和钍，最好试用如下剂量：用以在播种前处理种子的是

1) 请参考“放射性元素在农业和医学中的应用”（“拉脱维亚苏维埃社会主义共和国科学院通报”，1955，No5，里加）。

每 100 毫升溶液含 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 克；施用于土壤或其它培养基中时每 100 克 10^{-5} 、 10^{-6} 克。

試驗地段在全部营养生长期都应保持純洁。杂草应自地段清除。及时进行間苗,并精确記錄所拔掉的植株的重量。

对試驗进行观察必須从出苗时起就开始。在記錄簿中要記下准确的播种日期、个别試驗处理中植株的有精确的数量記載的幼芽出現的时期、第一和第二叶片出現的时期等等。記錄簿中还要記下开始开花、結果、抽穗(禾本科植物)的日期及植株成熟、病害出現的时日等等。

試驗的最終統計工作是在植株全部成熟的时期进行的。統計时要測定收获物所有各部分的准确数量,包括果实、肉質直根、营养器官、种子等。报告书中不仅要算出平均数字,而且連几次重复試驗的經過数学計算的全部資料也要包括进去。

为了确定收穫物的质量,要选出平均样品,确定其中的干物質,按照別尔特兰法測定轉化前及轉化后的糖的含量、总氮量及蛋白質氮量等等(依植物的种为轉移)¹⁾。

供盆栽試驗用的、用以培育植株的土壤要仔細攪拌、过篩。

装填盆鉢时应施入氮、磷、鉀及硼作为基肥,換算为每公斤土壤的含量是:

硝酸銨 NH_4NO_3	0.2 克
沉淀磷酸鈣 CaHPO_4	0.172 克
(可用过磷酸鈣代替)	
氯化鉀	0.1 克
硼酸	1 毫克

最好采用大的、可盛土 6 公斤以上的培养器。这样,試驗可重复 4 次。

作砂基培养应使用純淨的石英砂。装填盆鉢时应施入有各种微量元素的普梁尼什尼柯夫或格尔里格尔完全营养液。

給盆鉢灌水应使用自来水,用量按土壤或砂土的完全持水量

1) 在每公斤土壤 10^{-8} 及 10^{-7} 鎰的剂量的基础上培育出的植物,不可食用。

的 60% 計算。

放射性元素要和营养盐类、种子一起施入，或施于一定的土壤层。对后面一种方法，我們也要提一下。

培养器既已装满以后，取出上面一层 3—4 厘米厚的土壤或砂土，并且均匀地施入含有所需剂量放射性元素的溶液。然后把取出的土壤撒在盆钵内并进行播种。加入的放射性元素溶液的体积不应超过 30 毫升。

对于精确地测定某种元素在所研究的物质中的含量来说，测定数量含量的化学方法是有很重大的意义的。然而很遗憾，根据分析材料并不能做出有关某种元素为植物正常发育所必需的程度以及是否普遍需要的有根据的结论。这些问题主要地可以根据生理学上的方法来解决。不过化学方法也有它本身的优点，这些优点应当和生理学方法的优点同时加以利用。

在有关研究天然和人造放射性元素的比较效能的试验中，絕不能把施于培养基中的极少量的天然放射性元素例如镭、钍、釷等的作用同包括放射性磷、放射性碘等在內的人造放射性同位素的作用，即在外界的影响下只有它們的射线而且主要地也是对不同有机体的頗大強度的作用相比較。很遗憾，在文献中却很有一些这样的实例。Э. Я. 格拉耶夫斯基 (Граевский) 和 Е. Г. 季諾維也娃 (Зиновьева, 1956) 在用絨毛虫——草履虫——所作的試驗中，对于在放射性硫 S^{35} 、放射性碘 I^{131} 及放射性磷 P^{32} 的辐射线的影响下这些有机体的成活率及分裂的速度进行了观察。在試驗中应用的放射性同位素的总剂量是：0.84、7.4、84、336、840、1680 rep*。

照射是不間断的，而且一直持續了 7 个昼夜。無論是最底剂量，也無論是較高剂量，試驗的作者們均未获得肯定的作用。据此，作者們就作出了有关小剂量放射性物质对有机体无良好作用的結論。

从光线的测定的观点看来，所应用的所謂“小剂量” 0.84rep 究

* “rep” 恐为 “rep” 之誤，rep 应譯为“物理伦琴当量”。——譯者

竟有多大呢？

我們知道，与通过 0.5 毫米鉛板开始过滤以后的蜕变的生成物处于平衡状态的 1 毫克的鐳，在空气中能产生剂量等于在 1 厘米距离处每小时 8.4 rep 的能量。可見 0.84 rep 的剂量与 0.1 毫克的鐳或 $1 \cdot 10^{-4}$ 居里等值。沒有鉛滤层的話，这一剂量的能量还要高些。

因此，在試驗中 0.84 rep 的“小剂量”超过了最适剂量即有益剂量的 1000 万倍。这无疑是有毒的剂量。

从另一方面来看，在这些以及类似的試驗中，也沒有注意到另外一种情况，那就是，天然放射性元素在有机体的生活中的生物学作用，如上面所指出，与人工放射性同位素的作用是有区别的。这一区别在于，天然放射性元素——鉀、鐳、鈾、釷、釷、鈾、天然放射性碳等——作为大量、微量及超微量元素在有机体的全部进化过程中，都是經常的組成成分。而放射性磷、放射性碘、放射性硫等人工放射性同位素在自然界中則是不常遇到的。

α 、 β 和 γ 射綫等放射性射綫的外界作用，与在施用放射性元素于有机体内时所經常放出的放射性元素的作用相比較，生物学作用也是完全不同的。

这是絕不能作比較的两个完全不同的問題。

在有关微量元素及天然放射性元素方面的文献中，往往有不同作者就同一問題得出了不同的結論，这种情况往往与应用的方法不同及进行試驗的条件不同有关。

使用放射性元素的安全規程

使用放射性元素时，無論是高剂量，無論是小剂量，同样都需要严格地遵守一定的安全規程，即：

1) 进行試驗的房間不应被放射性元素所沾染，因为經過一定時間以后，极小量的放射性元素便可能变成非常高的、对于生物体有害的剂量。而且也因为沾染以后必将严重破坏研究工作的精密度。

2) 勿使放射性物質進入有機體內，因此在室內工作使用標本(Открытый препарат)時，不可吃飯、飲水、吸煙等。也應避免放射性元素通過外傷進入有機體內。

3) 放射性元素含量較高的廢棄物應棄之于專用的容器內，也可以倒入每升溶液含 10^{-7} 居里以下的溶液槽內。

4) 研究大大超過天然含量的放射性物質時特別危險，因為它的不良作用可能不是立即就能感覺到的，往往在有機體內存在很長時期以後才發覺。所以可能引起可以導致惡性生成物形成的嚴重的射綫病。

相當大劑量的致電離射綫所能破壞的不只是個別的細胞，而且還能破壞任何健康的活組織。有機體的復原能力也可能不足以使受傷部分自行痊癒。這種疾病的治療是困難的，而且需要很長的時期。

5) 根據計算資料所規定的所謂“安全”劑量或指示劑量(每工作日 $0.1-0.05$ 倫琴)，于有機體內施入這個劑量的放射性元素時是特別危險的。以下的計算可以說明這一點：根據上述資料，于有機體內施入放射性磷時，每公斤體重 1.19 微居里可以認為是它的安全指示劑量。然而我們知道， 1 微居里相當于每秒 $3.7 \cdot 10^4$ 次蛻變或 $3.7 \cdot 10^4$ β 粒子。每分鐘的蛻變次數為它的 60 倍。因此，放射性磷的安全指示劑量將是以下數量：每分鐘每公斤體重 $1.19 \cdot 3.7 \cdot 10^4 \cdot 60 = 2641800$ 次蛻變或這個數目的 β 粒子，或每克體重每分鐘 2642 次蛻變。人的機體的天然放射性大約為每分鐘 10 次蛻變。可見，這種所謂“安全”指示劑量差不多超過天然放射性 264 倍。沒有疑問，由于測量儀器的精密度的提高，這個劑量今后是必須大大減低的。鉀、銣、釷等弱天然放射性元素對有機體是沒有危險的。因此可以遵守普通化學元素的使用規則。

簡短的結論

1) 疏散狀態的天然放射性元素——鈾、釷、鐳、銣、釷、天然放射性碳等——在自然界中有着廣泛的分布。在土壤、天然水、大

气、植物和动物有机体内均经常含有极少量的这类元素。它们都属于微量及超微量元素。

例外的只有钾。土壤及有机体中含有很多的钾。钾属于人、植物和动物有机体所必需的大量元素。

自然界中除能形成新的放射性元素族和系的三种母放射性元素——钍、镭、锕——以外,还可以发现具有天然放射性、然而彼此之间并无演化关系的一些稳定元素的同位素。现今已知的、半衰期在十分之几秒到若干年的此类放射性同位素有150多种,不过它们在自然界中的含量甚少。这些放射性同位素差不多都是以 β 蜕变或K电子层获取的方式进行蜕变的。例外的只有钷是以 α 蜕变的方式。

2) 人造放射性的发现使我们可以得到几乎所有已知的化学元素的人造放射性同位素。

3) 生物的正常发育需要极少量的镭、钍、钷等天然放射性元素这种论点,现在可以认为是已经确定的了。植物在缺少放射性元素的纯化了的培养基的条件下,生长就会有明显的迟滞,而且没有花序形成。豆菽类作物的根上也没有根瘤形成,根瘤菌和固氮细菌的纯粹培养,生长缓慢,而且吸收大气氮的能力也有显著的降低。可见,缺乏天然放射性元素时,这些有益微生物以大气氮丰富土壤从而提高土壤肥力的这一最重要的特性就会明显减弱。

4) 田间及盆栽试验结果说明了,于土壤中或人造培养基中施入极少量的放射性元素以补充基本营养物质,在一定的条件之下,能显著提高产量及改良产品品质。放射性元素的特点是,能提高豆菽类作物的蛋白质的含量、糖用甜菜的根及蔬菜作物的含糖量,提高结实能力及加快成熟等。

植物吸收放射性元素以后,能将其浓集在生长点、新生的而且发育旺盛的叶片、以及结实器官之内。

但是在广泛运用放射性微量元素肥料于农业实际以前,必须极精确地研究出在一定条件之下施于有机体之内时对植物和动物有机体的发育能产生良好的、有刺激作用的、放射性元素的适宜的

浓度。

同时也应准确地测定出对有机体有害的浓度。

参与这个问题的探讨的不应当只是农业专家们，还应有医务工作者。同时也应着重研究应用的剂量、时间和方法，着重土壤、植物和动物有机体中放射性元素的天然含量以及放射性元素对有机体的影响。

5) 供科学研究之用的可以推荐的剂量如下：

于培养基——土壤、水耕培养和砂基培养——中施用镭及其它种放射性同位素时，每公斤土壤、砂基或每升水溶液是 10^{-12} — 10^{-9} 居里。

处理播种于田间的种子，每公斤 10^{-7} — 10^{-10} 居里。剂量的确定与作物种类、处理种子的方法等条件有关。

通过叶子给植物作根外追肥时应采用浓度为每升溶液 10^{-11} — 10^{-12} 居里的溶液。每公顷需用这种浓度的溶液 600—1000 升。应给植株喷射两次。

用以处理种子及作根外追肥的铀和钍的浓度应为 10^{-5} — $10^{-6}\%$ ，也就是说每 100 毫升水或每 100 克种子 10^{-5} — 10^{-6} 克。

6) 不会给植物带来危害的小剂量的人造放射性同位素，在一定的条件下，能对植株的发育产生良好的作用。

这方面的問題应当在进一步的研究中取得詳尽的闡明。

7) 不应于有机体中施用剂量为每 100 克物质 10^{-7} 居里或更多的放射性元素，因为这样大的剂量对有机体是有危害的。这样大的剂量只能应用于特殊的目的，并且要格外谨慎。

8) 在研究低浓度放射性元素的肯定作用时，必须特别着重研究它们对生物学过程、碳水化合物和蛋白质及维生素等的含量的增加这两方面的影响。

9) 使用重天然放射性元素以及放射性磷、放射性钴等人造放射性同位素时，应严格遵守使用放射性物质的现有安全操作规则。

附錄 I A. M. 門捷列夫元素週期系

週期	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
1	H 1.008 氫	Li 6.94 鋰	Be 9.013 鈹	B 10.82 硼	C 12.01 碳	N 14.008 氮	O 16 氧	F 19 氟	Ne 20.183 氖
2	Na 22.997 鈉	Mg 24.32 鎂	Al 26.98 鋁	Si 28.09 矽	P 30.975 磷	S 32.066 硫	Cl 35.457 氯	Ar 39.944 氬	
3	K 39.096 鉀	Ca 40.08 鈣	Sc 44.96 鈾	Ti 47.9 鈦	V 50.95 鈮	Cr 52.01 鉻	Mn 54.93 錳	Fe 55.85 鐵	Ni 58.69 鎳
4	Cu 63.54 銅	Zn 65.38 鋅	Ga 69.72 鎵	Ge 72.6 鍮	As 74.91 砷	Se 78.96 硒	Br 79.916 溴	Ru 85.47 鈷	Rh 86.91 鈳
5	Rb 85.48 鉀	Sr 87.63 銣	Yt 88.92 釷	Zr 91.22 鈷	Nb 92.91 鈮	Mo 95.95 鉬	Tc 98 錳	Ru 101.7 鈷	Rh 102.91 鈳
6	Ag 107.88 銀	Cd 112.41 鎘	In 114.76 銦	Sn 118.7 錫	Sb 121.76 銻	Te 127.61 碲	I 126.91 碘	Os 190.2 銱	Ir 193.1 銱
7	Fr 197.2 鈾	Au 197.2 金	Hg 200.61 汞	Tl 204.39 鉛	Pb 207.21 鉛	Bi 209 鉍	Po 210 鉍	At 210 鉍	Rn 222 氡

附录 2 天然放射性元素 (不包括放射系)

元 素	天然同位素混合物的%	半衰期(年)	蜕变类型	幅 射 能 量 (百万电子伏特)		变化生成物	在地壳中的含量(%)
				粒 子	γ -射线		
$^{19}\text{K}^{40}$ —钾	0.0119	$1.31 \cdot 10^9$	β^- γ K	1.325	1.459	$^{20}\text{Ca}^{40}$ $^{19}\text{Ar}^{40}$	2.6
$^{20}\text{Ca}^{48}$ —钙	0.179	$2 \cdot 10^{16}$	β^-			$^{21}\text{Sc}^{48}$	
$^{37}\text{Rb}^{87}$ —铷	27.85	$6.15 \cdot 10^{10}$	β^-	0.275	0.394	$^{38}\text{Sr}^{87}$	0.03
$^{40}\text{Zr}^{96}$ —锆	2.8	$6.2 \cdot 10^{16}$	β^-	3.4		$^{41}\text{Nd}^{96}$	—
$^{49}\text{In}^{115}$ —铟	95.77	$6 \cdot 10^{14}$	β^-	0.63		$^{50}\text{Sn}^{115}$	$1 \cdot 10^{-5}$
$^{50}\text{Sn}^{124}$ —锡	6.11	$> 1.5 \cdot 10^{17}$	β^-	1.5		$^{51}\text{Sb}^{124}$	$4 \cdot 10^{-3}$
$^{52}\text{Te}^{130}$ —碲	34.11	$1.4 \cdot 10^{21}$	β^-			$^{53}\text{I}^{130}$	$1 \cdot 10^{-6}$
$^{57}\text{La}^{138}$ —镧	0.089	$7.0 \cdot 10^{10}$	β^- β^+ K		0.535 0.807 1.390	$^{56}\text{Ba}^{138}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$
$^{60}\text{Nd}^{150}$ —钕	5.6	$5 \cdot 10^{10}$	γ			$^{61}\text{Pm}^{150}$	
$^{62}\text{Sm}^{147}$ —钐	15.07	$6.7 \cdot 10^{11}$	β^-	0.011		$^{60}\text{Nd}^{143}$	$7 \cdot 10^{-4}$
$^{71}\text{Lu}^{176}$ —镥	2.60	$2.4 \cdot 10^{10}$	α β^-	0.215	0.180	$^{72}\text{Hf}^{176}$	$1 \cdot 10^{-4}$
$^{74}\text{W}^{180}$ —钨	0.126	$2.2 \cdot 10^{17}$	γ			$^{72}\text{Hf}^{176}$	$1 \cdot 10^{-7}$
$^{75}\text{Re}^{187}$ —铼	62.93	$4 \cdot 10^{12}$	α	0.40	0.270	$^{76}\text{Os}^{187}$	—
$^{83}\text{Bi}^{209}$ —铋	100	$2.7 \cdot 10^{17}$	β^- α	3.2 0.0400 3.15		$^{81}\text{Tl}^{205}$	10^{-5}

附录3 天然放射性元素蜕变系

原子序数 (核电荷)	质量数 (原子量)	元素名称	化学符号	辐射类型	半衰期
1. 铀族—镭					
92	238	铀 I	UI	α γ e^-	$4.498 \cdot 10^9$ 年
90	234	铀 X_1	UX ₁	β^- γ	24.101天
91	234	铀 X_2	UX ₂	β^- γ	1.175分钟
91	234	铀 Z	UZ	β^- γ	6.7小时
92	234	铀 II	UII	α	$2.475 \cdot 10^5$ 年
90	230		Io	α γ e^-	$8.3 \cdot 10^4$ 年
88	226	镭	Ra	α γ e^-	1590年
86	222	氡(镭射气)	Rn	α	3.825天
84	218	镭 A	RaA	α β^-	3.05分钟
85	218	砷	At	α β^-	2秒
82	214	镭 B	RaB	γ	26.8秒
83	214	镭 C	RaC	α β^- γ	19.7分钟
84	214	镭 C'	RaC'	α	$1.637 \cdot 10^{-4}$ 秒
81	210	镭 C''	RaC''	β^-	1.32分钟
82	210	镭 D	RaD	β^- γ e^-	22年
83	210	镭 E	RaE	α β^-	4.989天
84	210	钋	RaF	α	138.374天
82	206	铅	RaG	β^+ γ	稳定

原子序数 (核电荷)	质量数 (原子量)	元素名称	化学符号	辐射类型	半衰期
---------------	--------------	------	------	------	-----

2. 釷 族

90	232	釷	Th	α γ e^-	$1.389 \cdot 10^{10}$ 年
88	228	中釷 I	MsTh ₁	β^- γ	6.7年
89	228	中釷 II	MsTh ₂	α β^- γ	6.13年
90	228	射釷	RaTh	α β^- γ	1.90年
88	224	釷 X	ThX	α γ	3.64天
86	220	釷(釷射气)	Tn	α	54.5秒
84	216	釷 A	ThA	α β^-	0.18秒
85	216	釷	At	α	$3 \cdot 10^{-3}$ 秒
82	212	釷 B	ThB	β^-	10.67小时
83	212	釷 C	ThC	α β^-	1.09小时
84	212	釷 C'	ThC'	γ	$2.9 \cdot 10^{-7}$ 秒
81	208	釷 C''	ThC''	α β^-	3.1分钟
82	208	釷	ThD	γ	稳定

3. 錒 鈾 族

92	232	錒鈾	AcU	α γ	$7.13 \cdot 10^8$ 年
90	231	鈾 Y	UY	β^- γ e^-	1.066天
91	231	錒	Pa	α γ e^-	$3.43 \cdot 10^4$ 年
89	227	錒	Ac	α β γ e^-	21.7年

原子序数 (核电荷)	质量数 (原子量)	元素名称	化学符号	辐射类型	半衰期
90	227	鐳錒	RaAc	α γ	18.9天
87	223	錒 K	AcK	α β^- γ	21分鐘
88	223	錒 X	AcX	α γ	11.2天
86	219	釷(錒射气)	An	α	3.92秒
84	215	錒 A	AcA	α β^-	$1.83 \cdot 10^{-3}$ 秒
85	215	碲	At	α	10^{-4} 秒
82	211	錒 B	AcB	β^- γ	36.1分鐘
83	211	錒 C	AcC	α β^- γ	2.16分鐘
84	211	錒 C'	AcC'	α	0.52秒
81	207	錒 C''	AcC''	β^-	4.79分鐘
82	207	鉛	AcD	γ	稳定

参 考 文 献

- А л и е в Г. А. 1956. Применение марганцевых микроудобрений под с.-х. культуры в Азербайджанской ССР. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- А б у т а л ы б о в М. Г. 1956. Значение микроэлементов в жизни растений и повышение урожайности с.-х. культур в условиях Азербайджана. Там же.
- А р х а н г е л ь с к а я Н. С. 1952. Влияние меди на рост и развитие картофеля. «Микроэлементы в жизни растений и животных». М., Изд-во АН СССР.
- Б а р а н о в В. И. 1939. Об усвоении радиоактивных элементов растениями. «Докл. АН СССР», т. XIV, № 9.
- Б а р а н о в В. И. и Ц е й т л и н С. Г. 1941. Содержание радиоактивных элементов в некоторых почвах Союза ССР. «Докл. АН СССР», т. XXX, № 4.
- Б а х у л и я М. Д. 1952. Применение меди в качестве удобрений на торфянистых почвах. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Б е р е з о в а Е. и С у д а к о в а Л. В. 1941. Роль бора в симбиотрофизме льна. «Химиз. соц. земледелия», № 6.
- Б е р з и н ь Я. М. 1952. Значение кобальта и меди в кормлении сельскохозяйственных животных. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Там же.
- Б е р з и н ь Я. М. 1956. Применение солей микроэлементов в кормлении с.-х. животных. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Б л о м б е р г К. 1955. Содержание микроэлементов в растениях и пути повышения эффективности микроэлементных удобрений. Микроэлементы. «Тезисы докл. Всесоюзн. совещ. по микроэлем.», март 1955», Рига.
- Б о б к о Е. В. и С а в и н о в а А. Г. 1940. Значение молибдена для развития растений. «Докл. АН СССР», т. XXIX, № 7.
- Б о ч к а р ё в В., К и р и м - М а р к у с И., Л ь в о в а М., П р у с м я н Я. 1953. Измерение активности источников бета- и гамма-излучений. Изд-во АН СССР.
- Б р е с л е р С. Е. 1952. Радиоактивные элементы. М.—Л.
- Б р у н о в с к и й Б. К. 1932. Концентрация радия организмами. «Труды Биогеохим. лабор. АН СССР», т. 11.
- Б р у н о в с к и й Б. К. и К у н а ш е в а К. Г. 1930. О содержании радия в некоторых растениях. «Докл. АН СССР», серия А, № 20.
- В е р н а д с к и й В. И. 1929. О концентрации радия живыми организмами. «Докл. АН СССР», серия II, № 2.
- В е р н а д с к и й В. И. 1930. О концентрации радия растительными организмами. «Докл. АН СССР», серия А, № 20.
- В е р н а д с к и й В. И. 1940. Биогеохимические очерки. Изд-во АН СССР.
- В е р н а д с к и й В. И. 1954. Избр. соч., т. I. Изд-во АН СССР.
- В е р н а д с к и й В. И. 1955. Избр. соч., т. II. Изд-во АН СССР.
- В и н о г р а д о в А. П. 1935. Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д. И. Менделеева. «Труды

- Биохим. лабор. АН СССР», т. III.
- Виноградов А. П. 1946. Геохимическая обстановка в районах эндемического зоба. «Изв. АН СССР», серия геогр. и геофиз., т. 10, № 4.
- Виноградов А. П. 1950. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд-во АН СССР.
- Виноградов А. П. 1956. Биологическая роль радиоактивного изотопа K^{40} . «Докл. АН СССР», т. 110, № 3.
- Виноградова Х. Г. 1952. Молибден и его биологическая роль. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Власюк П. А. 1952. Применение марганцевых удобрений на различных почвах для повышения продуктивности сельскохозяйственных растений и животных. Изд-во АН СССР.
- Власюк П. А. 1956. Микроэлементы и радиоактивные изотопы в питании растений. Киев, Изд-во АН УССР.
- Власюк П. А. 1956. Содержание подвижных форм микроэлементов цинка, бора, кобальта и меди в почвах Украинской ССР. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине», Рига.
- Власюк П. А. 1957. Основные закономерности биологического действия малых доз ядерных излучений. «Докл. ВАСХНИЛ», вып. 10.
- Власюк П. А. 1957. Развитие агрофизиологической науки в УССР. «ВАСХНИЛ. Материалы сессии, посвящ. 40-летию Великой Октябрьской социалистической революции».
- Власюк П. А., Косматый Я. С., Ледецкая Л. Д. 1952. Влияние радиоактивных изотопов P^{32} и Zn^{65} на рост и сахаристость сахарной свеклы. «Научные труды Ин-та физиол. и агрохимии АН УССР».
- Войнар А. О. 1953. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М. Изд-во «Советская наука».
- Войнар А. О. 1956. Физиологическая роль микроэлементов в организме животных и человека и задачи исследований в этом направлении. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Войткович Т. В. 1956. Радиогеология и ее значение в познании истории земли. М., Госгеолтехиздат.
- Граевский Э. Я. и Зинovieва Е. Г. 1956. «Докл. АН СССР», т. 110, № 6.
- Густун М. И. 1955. Биогеохимическая провинция, бедная йодом. Микроэлементы. «Тезисы докл. Всесоюзн. совещ. по микроэлем., март 1955». Рига.
- Демиденко Т. Т., Белоножка А. Ф. 1956. Влияние микроэлементов на урожай и качество сахарной свеклы, гречихи, озимой и яровой пшеницы. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Добротин Н. А. 1954. Космические лучи. М., Научн.-техн. изд-во.
- Дробков А. А. 1937. Влияние редких земель на развитие растений. «Докл. АН СССР», т. XVII, № 5.

- Дробков А. А. 1940. Влияние радиоактивных элементов на развитие растений. «Изв. АН СССР», серия биол., № 5.
- Дробков А. А. 1941. Влияние радиоактивных элементов и редких земель на урожай и увеличение каучука в кок-сагызе. «Докл. АН СССР», т. XXXII, № 9.
- Дробков А. А. 1945. Значение радиоактивных элементов в развитии клубеньковых бактерий и усвоении ими молекулярного азота воздуха. «Докл. АН СССР», т. XLIX, № 3.
- Дробков А. А. 1951. Биологическая роль естественных радиоактивных элементов. «Успехи соврем. биол.», № 1.
- Дробков А. А. 1952. Естественные и радиоактивные элементы и их биологическая роль. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Дробков А. А. 1952. Роль молибдена в жизни растений. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Дробков А. А. 1957. Значение естественных радиоактивных элементов в жизни организмов. «Межвузовское совещание по микроэлементам в почвах». МГУ.
- Дробков А. А. 1957. Методы изучения роли и значения радиоактивных и других микроэлементов в жизни растений. Там же.
- Дьякова Е. В. 1952. Влияние борных удобрений на семенники клевера и люцерны. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Жежелъ Н. Г. 1955. Действие и последствие малых доз радиоактивных веществ на развитие и урожайность сельскохозяйственных культур. Микроэлементы. «Тезисы докл. Всесоюз. совещ. по микроэлем.», март 1955. Рига.
- Жежелъ Н. Г. 1956. Основные итоги исследований по применению сланцевой муки в качестве органо-минерального радиоактивного удобрения (за 1945—1955 гг.). «Зап. Ленингр. с.-х. ин-та», вып. 2.
- Жежелъ Н. Г. 1956. Значение фона удобрений в эффективности радиоактивных веществ при выращивании кукурузы.
- Жежелъ Н. Г., Врядя Н. П. 1956. Влияние предпосевной обработки семян растворами солей бора, марганца, меди и радия на урожай ячменя. Там же.
- Жолио-Кюри. 1957. Избр. труды. М., Изд-во АН СССР.
- Каарде Й. А. 1952. Особая форма лизухи — болотная болезнь — и ее лечение солями кобальта. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Каталымов М. В. 1948. Значение бора в земледелии СССР М., ОГИЗ.
- Каталымов М. В. 1952. Об эффективности борных удобрений и условиях их применения. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Каталымов М. В. 1956. О причинах высокой потребности растений в борных удобрениях. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Каталымов М. В. 1957. О содержании микроэлементов в зависимости от их видовых особенностей и свойств почв. Там же.
- Каталымов М. В. 1957. Микроэлементы и их роль в повышении урожайности. М., Госхимиздат.

- К а т а л ы м о в М. В. и Ш и р ш о в А. А. 1952. Влияние цинка на урожай сельскохозяйственных растений. Там же.
- К е в о р к о в А. П. 1956. О внекорневой подкормке растений микроэлементами в условиях кислых дерново-подзолистых почв. Там же.
- К е д р о в - З и х м а н О. К. 1952. Применение микроудобрений в сельском хозяйстве СССР. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- К е д р о в - З и х м а н О. К. 1952. Об эффективности борных удобрений и условиях их применения. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- К е д р о в - З и х м а н О. К. 1956. Действие кобальта и молибдена на урожай с.-х. растений на дерново-подз. и торф. почвах Белоруссии. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- К о з л о в а А. В. 1956. Основы радиовой терапии. Медгиз.
- К о к и н А. Я. 1951. Значение микроэлементов в повышении урожайности. Петрозаводск.
- К о к и н А. Я. 1956. Влияние микроэлементов на урожай зерновых культур. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- К о в а л ь с к и й В. В. 1952. Физиологическая роль микроэлементов у животных. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- К о л л и Е. А. 1956. Пути йодного обмена в щитовидной железе. Там же.
- К р а с и л ь н и к о в Н. А. 1938. «Микробиология», т. 7, вып. 6.
- К р а с и л ь н и к о в Н. А., Д р о б к о в А. А., Ш и р о к о в О. Г. и Ш е в я к о в а Н. И. 1955. Влияние радиоактивных элементов на развитие клубеньковых бактерий и азобактерии и их азотоусвояющую способность. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- К у з ь и н А. М. 1955. Меченые атомы в исследованиях по сельскому хозяйству. Изд-во АН СССР.
- К у н а ш е в а К. Г. 1944. Содержание радия в растениях и животных организмах. «Труды Биогеохим. лабор. АН СССР», т. 8.
- К у р с а н о в А. Л. 1953. Значение изотопов и других новейших методов исследований в биологии для решения вопросов сельского хозяйства. «Вестник АН СССР», № 12.
- Л а м б и н А. З. 1952. Влияние допосевной обработки семян растворами микроэлементов на урожай с.-х. растений. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Л а ш к е в и ч Г. И. 1952. Применение меди и борсодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Л а ш к е в и ч Г. И. 1955. Применение микроудобрений на торфяных почвах. Минск.
- Л е б е д е в а А. И. 1956. Влияние радия и сланца на содержание белка в семенах ячменя, гороха и пшеницы. «Зап. Ленингр. с.-х. ин-та», вып. 2.

- Леонов В. А. 1956. Медь, цинк, кобальт и никель в крови и органах детей в норме и патологии. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Липлинский и Лунгвиц Г. 1915. Радиоэлементы в медицине. «Руководство по биологии, фармакологии и клинике».
- Лозовский А. А. 1956. Радонные воды и методика их лечебного применения. Медгиз.
- Малайшкайте Б. 1956. Применение кобальтовой подкормки для повышения продуктивности гусей в условиях Литовской ССР. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Малюга Д. П. 1946. К геохимии рассеянных никеля и кобальта в биосфере. «Труды Биогеохим. лабор. АН СССР», № 8.
- Малюга Д. П. 1952. Распространение кобальта в земной коре «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Менжинская Е. В. 1944. Распространение йода в пресных водах Верхней Сванетии и корреляция между ними и зубной эндемией. «Труды Биогеохим. лабор. АН СССР», № 7.
- Мпролюбов К. С. 1956. Влияние радиоактивных веществ на урожайность и физиологические особенности ячменя. «Зап. Ленингр. с.-х. ин-та», вып. 2.
- Морозов С. Д. и Савицкая С. С. 1956. Применение хлористого кобальта в кормлении с.-х. животных в Киргизии. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Надсон Т. А. 1920. «Вестник рентгенол. и радиологии», № 1.
- Надсон Т. А. и Рохлина Э. Я. 1934. «Вестник рентгенол. и радиологии», № 13.
- Надсон Т. А. и Филиппов Т. С. 1925. «Вестник рентгенол. и радиологии», № 3.
- Несмеянов А. Н., Баранов В. И., Заборенко К. Б., Руденко Н. П., Приселков Ю. А. 1956. Практическое руководство по радиохимии. М., Госхимиздат.
- Николаев О. В. 1952. Роль йода в физиологии щитовидной железы и в борьбе с эндемическим зобом. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Николаев О. В. 1956. Роль микроэлементов в физиологии и патологии желёз внутренней секреции. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Окунцов М. М. 1952. Физиологическое значение меди для растений и влияние ее на урожай. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Пантелеева Е. И. 1956. Новые данные о лучистом действии калия на развитие растений. «Зап. Ленингр. с.-х. ин-та», вып. 2.
- Пейве Я. В. 1952. Значение бора, марганца и меди в повышении урожая льна. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Пейве Я. В. 1952. Кобальт в почвах Латвийской ССР и значение его в сельском хозяйстве. Там же.
- Пейве Я. В. 1954. Микроэлементы в сельском хозяйстве нечерноземной полосы СССР. Изд-во АН СССР.

- Побединский М. П. 1954. Лучевые осложнения при рентгенотерапии. Медгиз.
- Поспелов И. А. 1952. Действие борных удобрений на повышение урожая кормовой свеклы «Микроэлементы в жизни растений и животных». Там же.
- Райзман П. М. 1956. Влияние микроэлементов на продуктивность пуховых кроликов и овец. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Рохлина Э. Я. 1936. «Микробиология», т. 5, вып. 2.
- Симон-Северская И. А. 1936. Некоторые данные о влиянии подкормки йодистым калием на развитие ягнят породы архаро-меринос. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Скобелъцын А. В. 1935. Космические лучи. М.—Л.
- «Справочник по радиометрии для геофизиков и геологов». М., 1957.
- Страхов Т. Д. и Ярошенко Т. В. 1952. Влияние микроэлементов на повышение устойчив. растен. против заболеваний. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Сухарев В. И. 1954. Эманизированные корма — опыт их использования в практике биологии как стимуляторов организма. «Уч. зап. Моск. гос. пед. ин-та им. В. И. Ленина», т. XXVIII.
- Тарусов Б. Н. 1955. Основы биологического действия радиоактивных излучений. Медгиз.
- Токарев А. Н. и Щербаков А. В. 1956. Радиогидрогеология. Госгеолтехиздат.
- Троицкий Е. П. 1956. Содержание некоторых микроэлементов в системе — почва — виноградный лист — ягода — вино. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Филиппов Т. С. 1932. «Вестник рентгенол. и радиологии», № 10.
- Чернавина И. В. 1952. Влияние молибдена на урожай и химический состав бобовых растений. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Чириков Ф. В. 1914. Возбудители роста. Из результатов вегетационных опытов. Под ред. акад. Д. Н. Прянишникова.
- Шергин Н. П. 1956. Распределение витамина B₁₂ в организме сельскохозяйственных животных. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Школьник М. Я. 1950. Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии. Изд-во АН СССР.
- Школьник М. Я. 1952. О физиологической роли микроэлементов у растений. Там же.
- Штерн Е. А. 1937. «Труды год. сессии Гос. рентгенол. и радиол. ин-та».
- Штерн Е. А. 1938. «Вестник рентгенол. и радиологии», № 19, 21.
- Щербаков А. П. 1956. Влияние микроэлементов на рост и химический состав семян и саженцев древесных пород. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.
- Яковлев В. В. 1952. О роли бора в углеводном обмене. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд-во АН СССР.
- Яковлева В. В. 1956. Внекорневое питание растений бором

и молибдене. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига.

- Alexander L. T. 1950. Radioactive materials as plant stimulants. «Agron. J.», 42, p. 252—255.
- Arnold J. A. and Libby W. F. 1949. Age determinations by radio-carbon content checks with «samples of known age». «Science», v. 110, № 2896, p. 678—680.
- Arnold J. A. and Libby W. F. 1951. «Phys. Rev.», v. 87, 64.
- Bequerel H. 1903. Sur quelques effets chimiques produits par le rayonnement du radium. «C. R. Soc. biol.», t. 133, p. 7129.
- Brewer A. J. Amer. 1936. «Chem. Soc.», t. 58, p. 365.
- Burke J. 1905. On the spontaneous action of radium on gelatin media. «Nature», vol. 72, № 1865, p. 294.
- Campbell N. 1907. The B-rays from potassium. «Proc. Cambr. Philos. Soc.», v. 14, p. 2, 211.
- Campbell N. and Bood A. 1906. The radioactivity of the alkali metals. «Proc. Cambr. Philos. Soc.», v. 14, p. 1.
- Campbell N. 1908. The radioactivity of potassium with special reference to solutions of its salts. «Proc. Cambr. Philos. Soc.», v. 14, p. 6, 557.
- Cann A. 1913. Zur Behandlung maligner Tumoren mit radioaktiven Substanzen. «Münch. med. Wochenschr.», S. 10.
- Cannon Helen L. 1952. «Amer. J. Sci.», v. 250, № 10, p. 735.
- Caraman M. et Champy Ch. 1936. Action de la radio-émanation sur la germination des graines. «C. R. Soc. biol.», v. 12, № 7, p. 750—752.
- Congdon E. D. 1911. Die Beeinflussung des Wachstums von Samen durch B-Strahlen. «Anz. Akad. Wiss.», Wien, Bd. 120 S. 431—32.
- Crochetelle J. 1913. Influence d'un corps radioactif sur la germination. «J. Agric. prat.», Paris, t. 2, № 37.
- Dauphin J. 1904. «C. R. Soc. biol.», 138, p. 154.
- Dixon H. and Wigham J. T. 1904. Preliminary note on the action of the radiations from radium bromide on some organisms. «Scient. Proc. Roy. Dublin Soc.», N. S., v. 10, pt. 2, № 19.
- Dubois et Raphael. 1905. Cultures minérales lobes et cadibes. «Rapp. Congr., radiol; à Liège».
- Duggar B. M. 1936. Biological effects of radiation, v. 1, 2. N. Y. and London.
- Fabre G. 1911. Action du radium sur les organismes végétaux. «C. R. Soc. biol.», № 11.
- Fabre G. 1910. Altérations organiques et fonctionnelles des organismes végétaux sous l'influence du radium 1. «C. R. Soc. biol.», t. 2, p. 523.
- Falta W. und Schwarz F. 1911. Wachstumsförderung durch Radiumemanation. «Berl. klin. Wochenschr.», 14.
- Ferdinand P. 1916. Radiumwirkung in Wasserkulturen. «Zschr. Landw. Vers. Qes. Osterr.», Wien, H. 8—9.

- French C. B. 1948. Effect of radioactive materials on growth. *Canad. Chem. a. Process. Ind., stimulating plant*, v. 32, p. 225—226.
- Gager L. 1908. Effects of the rays of radium on plants. *Mem. N. Y. Bot. Garden*, v. 4.
- Gager C. S. 1908. Some physiological effects of radium rays. *Amer. Naturalist*, v. 17, № 504, p. 766.
- Gager L. 1916. Present status of the problem of the effects of radium rays on plant life. *Mem. N. Y. Bot. Garden*, v. 6, № 153, p. 160.
- Goodspeed T. H. 1929. Effects of X-rays and radium on species of the genus *Nicotiana*. *J. Heredity*, v. 20, № 6, p. 243—59.
- Guilleminof H. 1907. Mesure de la quantité de rayonnement (préliminaire à l'étude de l'action des radioactions sur la germination des plantes). *Ass. Soc. fran. agric. sci.*, № 389.
- Guilleminof H. 1907. Action du radium sur la graine et le développement des plantes. *Arch. élect. méd.*, № 592.
- Guilleminof H. 1910. Persistance de l'action des rayons X et des rayons du radium sur la graine à l'état de vie latente. *C. R. Soc. biol.*, № 68, p. 309.
- Guilleminof H. 1910. Action biologique comparée des radiation du radium et des radiations de Röntgen. *Arch. élect. méd.*, № 325.
- Hoffman J. 1941. *Naturwissenschaften*, Bd. 29, S. 403—404.
- Hoffman J. 1942. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.*, № 2, S. 318—327.
- Hoffman J. 1943. *Zschr. Biochem.*, Bd. 313, S. 377—378.
- Hoffman J. 1943. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.*, Bd. 32, S. 295—306.
- Hopkins C. R. and Sachs W. H. 1915. Radium fertilizer in field tests. *Science*, v. 41, p. 732—35.
- Kahn F. 1914. Physikalische, chemische und biologische Eigenschaften von Thorium X. *Strahlentherapie*, Bd. 2, S. 480.
- Koernicke M. 1904. Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimung und das Wachstum. *Ber. Deutsch. bot. Ges.*, Bd. 22, S. 155.
- Koernicke M. 1905. Über die Wirkung von Röntgen und Radiumstrahlen auf pflanzliche Gewebe und Zellen. *Ber. Deutsch. bot. Ges.*, Bd. 23, S. 404—415.
- Koernicke M. 1915. Die biologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen auf den Pflanzenorganismus. *Verh. deutsch. Röntgenes*,
- Lepape A. and Tronnoy R. 1934. Fixation by plants of radium traced at their disposal in the soil. *C. R. Soc. biol.*, v. 199, p. 803—805.
- Lepape A. and Tronnoy R. 1934. Influence du radium sur la végétation. *Ann. agron.*, № 3, p. 319.
- Libby W. F. 1946. Atmospheric helium three and radiocarbon from cosmic radiation. *Phys. Rev.*, v. 69, № 11—12, p. 671—673.
- Malpeaux L. 1913. Les engrais radioactifs. *Vie agric. rur.*, Paris, № 9.
- Malpeaux L. 1913. *La Radiumculture*. Paris.

- Matout. 1904. «C. R. Soc. biol.», v. 134, p. 712.
- Meyer und Schweidler. 1927. Radioaktivität. Leizig.
- Mikhauz R. und Zailer. 1918. Über die Einwirkung radioaktiver Substanzen auf das Pflanzenwachstum. «Zschr. Landw. Vers. Wes. Österr». Wien, 21, S. 354—55.
- Molisch H. 1912. Über den Einfluß der Radiumemanation auf die höhere Pflanzen. «Sitzungsber. Akad. Wiss.». Wien., math.-Naturwiss. Kl., Bd. 121, S. 833—857.
- Molisch H. 1912. Das Treiben von Pflanzen mittels Radium. «Sitzunber. Akad. Wiss.». Wien, math.-Naturwiss. Kl., Bd. 121.
- Molisch H. 1914. Das Radium, ein Mittel zum Treiben der Pflanzen. «Naturwissenschaften», Bd 2, S. 104—106.
- Montet D. 1932. Action des faibles radioactivités sur la germination des graines. «C. R. Soc. biol.», t. 194, p. 304—306.
- Montet D. 1932. De l'influence des faibles radioactivités sur la germination. «C. R. Soc. biol.», t. 109, p. 678—80.
- Mulder E. C. 1948. «Plant a. Soil.», 1,1.
- Nodon A. «C. R. Soc. biol.», 1924, t. 178, p. 487.
- Packard C. 1907. The effects of the beta and gamma rays of radium on protoplasm. «J. Exp. Zool.», v. 19, p. 303.
- Packard C. 1918. Difference in the action of radium on green plants in the presence and absence of light. «J. Gen. Physiol.», t. 1, rp. 37—38.
- Petit G. et Ancelin R. 1913. De l'influence de la radioactivité sur la germination. «C. R. Soc. biol.», t. 156, p. 903—905.
- Pilz F. 1916. Radiumwirkung in Wassekulturen. «Zschr. Landw. Vers. Wes. Osterr.». Wien, H. 18, S. 399—410.
- Ramsey R. R. 1915. Radium fertilizer. «Science», v. 42, p. 219.
- Rusby H. 1915 The influence of radioactive earth on plant growth and crop production. J. «N. Y. Bot. Garden», v. 16, № 181, p. 1—23.
- Richards A. 1915. Recent studies on the biological effects of radioactivity. «Science», v. 42, p. 287—300.
- Ross W. H. 1914. The use of radioactive substances as fertilizers «U. S. Dept. Agric. Bull.», № 149.
- Russel E. Z. 1925. The effect of radium on the growth of plants. «Nature», v. 96, p. 147—48.
- Sawyer G. A. and Wiedenbeck M. L. 1950. «Phys. Rev.», v. 79, p. 490.
- Stoklasa J. und Penkava G. 1932. Biologie des Radiums und Uraniums. Berlin, 972 S.
- Sutton H. F. 1915. Radium and plant growth. «Gard. Chren.», 58, p. 102 (Editorial summary of Sutton's Report).
- Schwarz G. 1903. Über die Wirkung der Radiumstrahlen. «Pflug. Arch. ges. Physiol.», Bd. 100, S. 532.
- Williams M. 1925. Some observations on the action of radium on certain plant cells. «Ann. Bot.», v. 39, № 155, p. 547—62.
- Zirakle R. E. 1932. Some effects of alpha radiation. upon plant cells. «Journ. Cell. a. Comp. Physiol.», № 2, p. 251—74.
- Zwaardemaker H. 1918. Die Bedeutung des Radiums in Organismus. «Pflug. Arch. ges. Physiol.», Bd. 173, S. 28—77.
- Zwaardemaker H. 1920. On physiologica radioactivity. «J. Physiol.», v. 53, p. 273—89.



S0013793

58.1713

780

58.843

780

1/4 41/2 60.3.8.

书簿

60.12.17

58.84317

780

統一書號：13031·11

定 价： 0.81 元